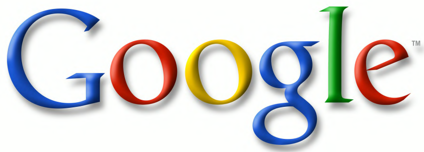




YAM

LECCIONES

DE

FILOSOFIA,

POR

D. FELIX VARELA.

QUARTA EDICION,

CORREGIDA Y AUMENTADA POR EL AUTOR.

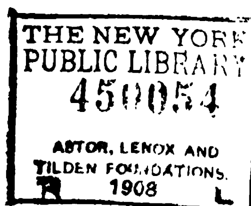
TOMO SEGUNDO.

NUEVA-YORK:

IMPRESO POR G. F. BUNCE,

224 CHERRY-STREET.

1832.



Yo no escribo sino para los ignorantes. Como ellos no hablan la lengua de ninguna ciencia, pueden con mas facilidad entender la mia, que está mas á su alcance que ninguna otra, por haberla sacado de la naturaleza, que les hablará como yo.

CÓNDILLAC, Log. cap. ix.

INTRODUCCION

AL

TRATADO DE LOS CUERPOS,

Ó AL

ESTUDIO DEL UNIVERSO.

El estúdio del universo ó del conjunto de cuerpos, es tan estenso que ha sido necesario formar de él diversos ramos llamados ciencias naturales, que se distinguen, ya en su objeto, ya en las relaciones que contemplan. Espondrémos brevemente el órden y enlace de estas ciencias.

Advierte el hombre infinitos efectos en la naturaleza, observa su armonía, investiga sus causas, y los aplica á los usos de la vida conociendo el orígen de las sensaciones que esperimenta. Este es el estúdio de la Física ó ciencia de los cuerpos, que hablando con propiedad, comprende todas las ciencias naturales, pero que comunmente se considera limitada á investigar las causas de los efectos sensibles, que provienen de meras relaciones esteriores de los cuerpos, sin descomponerlos ni recomponerlos para percibir las relaciones de sus partículas, pues esto pertenéce á la Química segun manifestarémos. Sin embargo es innegable que la Física por muy limitada que se suponga, no puede prescindir de la divi-

sion de algunos cuerpos, considerando la diversidad de sus partículas, como sucede en la lūz para presentar distintos colores.

En la contemplacion de la naturaleza es preciso valuar cantidades de todas especies, y como este estúdio es muy diverso de la simple observacion de los efectos é investigacion de sus causas, ha llegado á constituir una ciencia de cantidad, considerada bajo distintas relaciones, que es lo que forma las Matemáticas.

Como estas ciencias consideran la cantidad en abstracto, su exactitud en los cómputos no depende de la realidad de las cosas, y establecidos los primeros hechos aunque sean falsos, continúa el matemático perfectamente y no será mejor el cómputo, porque los hechos sean verdaderos. Biot presenta un caso que comprueba lo que acaba de decirse, pues habiendo hecho Feuillé unas malas observaciones barométricas en el Pico de Tenerife, despues el célebre matemático Bernoulli trabajó mucho y con bastante exactitud sobre los resultados y aplicaciones de estos hechos que posteriormente se advirtió que eran falsos, y por consiguiente quedaron perdídas todas las fatigas de Bernoulli.

De lo dicho se infiere la estrecha conexion de la Física con las Matemáticas, pues se necesitan buenas observaciones de los efectos, y exacto conocimiento de sus causas, lo cual pertenece al fisico; y no es ménos indispensable la graduacion ó medida de estas cosas, que es propio de las Matémáticas. Debe con todo advirtirse que un exceso en la aplicacion de los cálculos á la Física, es un atraso positivo en élla, pues las cosas mas claras se confunden, y las falsas suelen adquirir un aspecto de verdaderas, segun advertimos en el tratado de la direccion del espíritu humano, manifestando que el apa-

rato científico es un obstáculo de nuestros conocimientos.

Suele preguntarse con mucha frecuencia, si para el estúdio de la Física es necesario el de la Matemática. Yo responderia que para tener un conocimiento de los efectos de la naturaleza y sus causas, no es absolutamente necesario computar todas sus relaciones en cantidad, bien que en algunos casos sea indispensable. Mas una Física semejante dejaría un gran vacío en el estúdio de la naturaleza, y para llenarle de algun modo, es preciso usar de la ciencia de las cantidades en cuanto baste á valuar los efectos sublimes que las mas veces no se dirijen sino á investigar lo que podría ser y no lo que es; lo que sucedería en tal ó cual caso y no lo que sucede; en una palabra, la multitud de abstracciones en que se han implicado la mayor parte de los fisicos, por aplicar inmoderamente las Matemáticas, lejos de ser útil es muy perjudicial. Biot que es uno de los fisicos franceses de mayor reputacion despues de haber escrito un gran tratado Físico en cuatro volúmenes, excediendose en los cálculos (aunque en su prólogo quiere disculparse de este defecto) se vió en la gran necesidad de escribir un compendio para la enseñanza pública, porque advirtió que era imposible que sus alumnos aprendiesen bajo aquel sistéma de implicarlo todo con tantos cálculos; y en la introduccion á su nueva obra, confiesa que nada le falta de cuanto podia aprenderse en su anterior tratado, y que por esperiencia conocía, que sus dicípulos progresaban mucho mas con el nuevo método que adoptó, quitando en cuanto le fué posible todas las investigaciones matemáticas.

La Química descompone los cuerpos y vuelve á componerlos para conocer sus íntimas relaciones segun hemos dicho anteriormente; de modo que todos

los efectos que dependen de la mezcla ó separacion de las partículas mínimas, son el efecto de esta ciencia, tan dificil y prolija en sus operaciones, y tan útil á todas las artes, á la Medicina y á todos los usos de la vida humana.

Se divide la Química en mineral, vegetal y animal, segun los cuerpos que considera, pues cada uno de estos órdenes de séres, es tan estenso que puede considerarse como una ciencia particular.

En la Química mineral entra la Geologia ó tratado de las tierras, Litológia ó tratado de las piedras, y la Metalúrgia ó ciencia de los metales.

A la Química vegetal, pertenece el estúdio de las plantas en cuanto á sus constitutivos solamente, pero no en sus descripciones y propiedad; así como la animal, considera los principios de las diversas partes de los animales, pero no su organisacion ni otra propiedad alguna. A todas estas ciencias suministra matéria la Historia natural, ó el conocimiento de los individuos que componen la naturaleza, clasificados por ciertas propiedades para formar un cuadro en que se representen todos con distincion. Podemos decir que la Histório natural comprehende tres ciencias: la Botánica ó conocimiento de los vegetáles, la Mineralogia ó conocimiento de los cuerpos inorgánicos, y la Zoología ó conocimiento de los animales.

Nuestro globo es tambien un objeto de la histório natural, aplicando á el la ciencia de las dimensiones se forma la Geografia matemática, asi como la fisica por la aplicacion de los conocimientos adquiridos sobre las propiedades de los cuerpos.

Ultimamente para formar una idéa del enlace de las ciencias naturales; dirémos que un hombre que observa efectos, é investiga causas, descompone los cuerpos para conocerlos íntimamente, y valúa con

exactitud los resultados de sus operaciones, este es un fisico, un químico y un matemático.

Método de proceder en las investigaciones naturales.

El fisico observando los efectos de la naturaleza, debe notar sus variedades, su duracion y sus periódos, si es que los guardan. Para estender estas observaciones y formar una idéa mas ecsacta de los efectos naturales, se inventan algunos medios mecánicos para hacer operar los cuerpos de uno u otro modo, de dividirlos ó mezclarlos, en una palabra, de ponérlos en distintas relaciones para notar sus efectos, y esto llamamos *esperimentos*, que regularmente se hacen por medio de máquinas mas ó ménos complicadas. De la observacion continua de los esperimentos, pasamos á formar ciertas clasificaciones intelectuales, atribuyendo á los cuerpos observados alguna propiedad, y esto se llama *esperiencia*, por cuya razon cuando se dice que tal ó cual cosa se sabe por esperiencia, debe entenderse que se sabe despues de muchos esperimentos todos conformes. Sin embargo frecuentemente se confunden estas voces diciéndose v. g. que se han hecho muchas esperiencias acerca del ayre en lugar de decir muchos esperimentos. Cuando un esperimento constantemente dá unos mismos resultados, debe creerse que es ecsacto y que prueba la verdad de una doctrina, aunque haya algunos otros esperimentos casuales é inconstantes, cuyos efectos se opongan abiertamente á los anteriores; pues siempre se juzga que la diferencia proviene de algunas circunstancias que no se han observado, y á veces ni se han podido observar, ó de la combina-

cion de algunas causas accidentales, que producen efectos contrarios, sin que por esto destruyan la esperiencia ecsacta, que resulta de unos esperimentos constantes.

Por este motivo en ningun punto de Física se establece un solo esperimento sino muchos, muy variados y repetidos, para observar si los efectos son constantes. Sinembargo, es preciso advertir que la variedad en los esperimentos debe ser en cuanto á los medios de operar, mas no en cuanto á las causas que operan, pues si tratamos v, g. da ecsaminar el peso del ayre, y se hacen algunos esperimentos en que opera otra causa como el calórico, la humedad &c. en concurso del aire, no podemos deducir cosa alguna de semejante ensayo. Los resultados de los esperimentos pueden discordar en cuanto á los efectos, ó en cuanto á su grado, probando v. g. por un esperimento que ecsiste ayre en un cuerpo, ó que no ecsiste ; que un cuerpo se comprime como 2, y otro como 4. En el primer caso en que la discordancia es de hechos, no queda mas recurso que repetir los esperimentos, notando cuidadosamente cuales son los mas ecsactos, y si podemos descrubrir en los contrarios la causa de esta diferencia; en el segundo caso se ecsamina igualmente por repeticiones contínuadas, si el diverso grado en los efectos proviene de alguna causa conocida, y si ésta no se descubre, se elije un termino medio, v. g. 10 entre 5 y 15, diciendose que el efecto aprocimadamente es como 10.

Las sustancias con que se opera, el estado de la atmósfera mas ó ménos caliente, mas ó menos cargada de vapores, y estos de tal ó cual naturaleza, el tiempo en que se hace y que dura un esperimento, las mas ligeras alteraciones que sobrevengan mientras se está practicando, la esperiencia en los instrumentos que sirven de medida, y la ecsactitud de los

aparatos con que se opera, deben ser el objeto de la consideracion de un fisico, si quiere conseguir felices resultados.

La contrariedad que se observa en la mayor parte de los esperimentos, proviene de no haber fijado la atencion en alguna de estas cosas, que a veces parecen de tan poca importancia, pero que en realidad son absolutamente necesarias.

Cuando consta que pueden existir muchas causas, que cada una por si sola es capaz de producir los efectos que observamos en un esperimento, este no prueba la existencia de ninguna de dichas causas; pero si dá una probabilidad respecto de todas, pues si el ayre pudo por sí solo, producir un efecto que tambien podia proceder del calórico, y consta que existen el aire y el calórico; es claro que no prueba decididamente en favor de ninguna de dichas sustancias.

Es preciso sinembargo evitar un estremo opuesto, que consiste en querer reducir la esplicacion de todos los fenómenos de Fisica, á un solo órden de causas, pretestando que así lo exige la sencillez de la naturaleza. Hay en esto mucho error, pues al hombre solo toca examinar los medios y modos de operar de los cuerpos, y no prescribirles normas el capricho, cuya sencillez aparente va reunida con una inexactitud e insuficiencia real. Todos los sistemáticos han cometido este defecto, cuya influencia en la Ideología y en los demas ramos científicos, hicimos ver en el tratado de la direccion del espíritu humano.

La repeticion de los esperimentos aunque es muy útil, puede confirmar un error, si el fisico no procura variar las tentativas hasta convencerse de la certidumbre del efecto; pues muchas veces por ha-

ber faltado una ligera circunstancia se repiten los esperimentos, y aunque den iguales resultados, no por eso prueban la realidad de las cosas en la naturaleza.

En la combinacion de esperimentos debe tenerse muy presente la especie de medidas de peso y estension, de que ha usado cada fisico, pues de lo contrario serán muy frecuentes y notables los errores. Si se combinan los esperimentos hechos en Inglaterra con los franceses, y no tenemos á la vista la relacion de las medidas de estos reynos, de que se ha valido cada fisico para determinar los resultados de su ensayo, seguramente habrá una gran discordancia, y nunca tendrémos un conocimiento aproximado.

Para evitar estos inconvenientes se ha formado un sistema de medidas tomadas de la naturaleza, para que sean constantes y sirvan de norma, cuyo conocimiento es interesante en las ciencias naturales no ménos que en los usos civíles.

El *metro** unidad de las medidas líneales en que se funda el nuevo sistema, es la diezmillonésima parte del cuadrante del meridiano terrestre, y equivale á 3,5889316 pies españoles.

El *ara* (decimetro cuadrado) es la unidad de las medidas agrarias.†

La *stere* (metro cúbico) es la unidad de las medidas de solidez.‡

* METRO significa medida, esta palabra entra en la composicion de muchos nombres conocidos en nuestra lengua, como barómetro, termómetro, &c.

† ARA tiene relacion con la palabra area, términa de Geometría, de Agricultura, que es toda superficie plana por la cual se camina; sus derivados no están en uso.

‡ STERE quiere decir solidez, descompuesto de los nombres Sterographia, Stereotipa, Stereometria.

La *litra* (decimetro cúbico) es la unidad de las medidas de capacidad para los líquídos y materias secas.*

La *gramma* (peso de un ceutimetro cúbico de agua destilada,) es la unidad de las medidas de peso.†

Las medidas de superficie, de solidez, de cápacidad y de peso, se derivan del métro cuadrado ó cúbico, ó de sus múltiplos ó submúltiplos.

Division de los nuevos pesos y medidas.

MIRIA	Significa, diez mil veces la unidad.
KILO.	mil veces la unidad.
HECTO	cien veces la unidad.
DECA	diez veces la unidad.
DECI	0, 1 ó un décimo.
CENTI	0,01, ó un centésimo de la unidad.
MILI	0,001, ó un milésimo de la unidad.

* *LITRA* viene sin duda del nombre litron, medida pequeña antigua para los granos, valía poco mas ó menos el tércio de una litra.

† *GRAMMA* nombre griego de la palabra escrúpulo qué valía 20 granos, la gramma vale 19 poco mas ó ménos.

Nomenclatura de los nuevos pesos y medidas, y su designacion.

Medidas lineales ó de longitud.	*Su valor en metros.*
Myriámetro	10000
Kilométro	1000
Hectómetro	100
Decámetro	10
Metro, *unidad*	1
Decímetro	0,1 ó $\frac{1}{10}$
Centímetro	0,01 ó $\frac{1}{100}$
Milímétro	0,001 ó $\frac{1}{0000}$

Medidas de solidéz.	*Su valor en steras.*
Myriastera (no se usa)	10000
Kilostera (no se usa)	1000
Hectostera (no se usa)	100
Decstera	10
Stera, *unidad*	1
Decistera	0,1 ó $\frac{1}{10}$
Centistera (no se usa)	0,01 ó $\frac{1}{100}$
Milistera (no se usa)	0,001 ó $\frac{1}{1000}$

Medidas para liquidos y granos.	*Su valor en litras.*
Myrialitra (no se usa)	10000
Kilolitra (met cùb.)	1000
Hectolitra	100
Decalitra	10
Litra, *unidad*	1
Decilitra	0,1 ó $\frac{1}{10}$
Centilitra	0,01 ó $\frac{1}{100}$
Mililitra (no se usa)	0,001 ó $\frac{1}{1000}$

[illegible] ó medidas de peso.	*Su valor en gramas.*
Miriagrama	10000
Kilograma (pes. del met. cù.)	1000
Hectograma	100
Decagrama	10
Grama, *unidad*	1
Decigrama	0,1 ó $\frac{1}{10}$
Centigrama	0,01 ó $\frac{1}{100}$
Miligrama	0,001 ó $\frac{1}{1000}$

Relacion de diversas medidas lineales con las del nuevo sistéma.

Nombres de las medidas.	*Metros.*	*Decimétros.*	*Centimétros.*	*Fraccion de Centimétro.*
El pié Español vale	"	2	7	86174
El pié Frances	"	3	2	48390
El pié Ingles	"	3	0	48978
El pié Hamburgues	"	2	8	64903

Relacion de diversas medidas de líquidos con las del nuevo sistéma.

Nombres de las medidas.	Litra.	Decilit.	Centilit.	Fracccion de centilitro.
El cuartillo de España	"	5	"	432.
El galon de Inglaterra	3	8	"	858.
La cuarta de Hamburgo	"	9	"	493.

TRATADO DE LOS CUERPOS,

ó

ESTUDIO DEL UNIVERSO.

PARTE I.

De las propiedades que observamos con mas frecuencia en los cuerpos, y de las que sirven para clasificarlos.

LECCION I.

Impenetrabilidad, divisibilidad, y forma.

Observando la naturaleza advertimos que todos los cuerpos ocupan un lugar, y no permiten que otro entre á ocuparlo miéntras ellos permanezcan. Todos los que son muy sensibles resisten el tacto, y por esta resistencia se forma la idea de un cuerpo distinto del nuestro segun hemos observado.* De la resistencia sucesiva proviene la idea de estension que es un agregado de partes; y de la estension diversamente combinada resulta la forma esterior de los cuerpos.

La palabra estension espresa una de aquellas idéas qué son como elementales en nuestros diversos pensamientos, y que se escapan por su simplicidad á

* Tratado del Hombre, Leccion IV.

toda especie de analisis. Los antiguos hicieron esfuerzos inútiles para dar una definicion que satisfaciese. Se estraviaron en vanas discusiones, en investigaciones estériles, para saber si ella constituye la esencia de los cuerpos. La solucion de este problema depende del conocimiento de la materia, que hasta ahora se ha escapado á la actividad de los fisicos.*

En las materias mas sutiles se ha demostrado la impenetrabilidad, ó la resistencia á que dos particulas ocupen un mismo lugar; pues el aire comprimido dentro de un tubo de bronce, nunca pudo reducirse en términos que todas las partículas se compenetraran por mas fuerza que se empleó para hacer bajar hasta el fondo un embolo perfectamente ajustado. Esto se hubiera conseguido facilmente si las partículas del aire se compenetraran.†

Debemos distinguir el tamaño aparente de un cuerpo del verdadero lugar que ocupan sus particulas segun advierte Nollet,‡ para no alucinarnos con algunas esperiencias que á primera vista se oponen á la impenetrabilidad. Una esponja se impregna de agua sin que aumente tanto su tamaño, cuanto es el del agua que ha embebido: el oro absorve el azogue sin aumentarse sensiblemente: dos cantidades, una de agua y otra de espíritu de vino reunidas, ocupan ménos lugar que separadas y asi v. g. de una pulgada cúbica de agua y otra de dicho espiritu, no resultan dos pulgadas cúbicas sino mucho ménos: cinco pulgadas cúbicas de ceniza y cinco de agua, componen una masa de seis pulgadas cúbicas. La piedra de las canteras de Boure cerca de Mont-

* Libes, Traité de Physique, tomo 1. pag. 13.
† Brisson, Principios de Física, tomo 1, pag. 81.
‡ Nollet, Lecciones de Física, tomo 7, lecc. 2.

richard á nueve leguas de Yours, retiene (dice Brisson) mas de setecientas treinta y uno libras de agua por vara cúbica.

La razon de estos esperimentos se conocerá facilmente, si advertimos que todos los cuerpos segun diremos despues, tienen infinitos poros ó pequeños huecos, en los cuales se introducen las sustancias que ecsistian separadas; y pierden segun la observacion del citado Nollet, la magnitud aparente, pero no el lugar de sus partículas, que son impenetrables y siempre ecsisten unas fuera de otras.

La divisibilidad de los cuerpos, se estiende mucho mas de lo que vulgarmente se cree. Muchos físicos han sostenido que la materia se divide hasta lo infinito, mas nosotros examinarémos solamente los esperimentos que prueban su prodigiosa division.

Esperimento 1°.—Los olores veremos que consisten en partículas que salen del cuerpo odorífero, y sabemos que un grano de almizcle es capaz de difundir su olor en toda una pieza por mucho tiempo, sin embargo de que el aire se remueva en cada momento y lleve consigo las partículas que antes habia, no advirtiéndose disminucion de peso en dicho grano de almizcle. Compútese ahora la innumerable multitud de partículas que han salido sin perder su peso de almizcle. Haciendo un cálculo prudente, podemos asignar ocho partículas á cada pulgada cúbica, para que se perciba el olor; y suponiendo que el esperimento se hiciera en una pieza de diez varas de largo y cinco de alta y ancho, tendriamos 10×5×5 =250 varas cúbicas que equivalen á 11, 664, 000 pulgadas cúbicas, y para computar las partículas, diremos 11, 664 000×8=93, 312 000. Pero supongamos que las partículas se renuevan solo ocho veces, en una hora y tendremos que 93,312,000×8= 746,496,000. Hagámonos cargo que este almizcle

puede estar por muchos dias despidiendo olor sin que se note disminucion sensible en su peso; y nos admiraremos de la sutileza y número de las partículas que ha despedido. Los navegantes perciben los olores de la isla de Ceilan á diez leguas de distancia. Computemos atendida la variedad y rapidez de los vientos, cual será la delicadeza de estas partículas, y formaremos idea de la division de la materia.*

Evaporada por accion del fuego un poco de agua de rosas, bastó el tiempo de dos minutos, para sentirse el olor en toda la pieza sin disminucion sensible del agua; y el número de las partículas ascendió á tres mil quinientos ochenta y tres millones, ciento ochenta mil ochocientos.†

Almeida quemó en una balanza exactísima, una corta cantidad de perfume y vió que cuando habia ardido un grano, ya el olor se percibia en toda la pieza que era una sala de treinta palmos de alto, y otros tantos de ancho y largo. Advirtámos que el peso perdido del perfume, no es todo de partículas odoríferas y estas apenas compondrán una décima y tal vez una centésima parte de la sustancia evaporada.

Esperimento 2º.—Boile, hizo ver que un grano de cobre disuelto y mezclado con espíritu de vino en una lámpara, dió por espacio de media hora una llama azul. Si considerámos que esta llama debe renovarse cada instante, y el espacio á donde podia estenderse dicha luz, formarémos idéa de la division de este grano de cobre tal vez mayor, que la que formamos del almizcle. Dicho grano de cobre se computó que estaba resuelto en veinte y dos mil

* Gamarra, Elementa Phys. pág. 58.
† Idem, pág. 66.

setecientos ochenta y ocho millones de partículas visibles.

Experimento 3°.—Segun las observaciones de Reaumur, treinta mil hojas de oro de las que usan los batidores de este metal, puestas una sobre otra, formarian el grueso de una línea; y segun Boile cincuenta pulgadas cuadradas pesarian un grano. Mas pudiéndose dividir cada pulgada en cuarenta mil cuadrados sensibles, aunque pequeños, dará dos millones de partículas si multiplicamos por cincuenta, número de las pulgadas cuadradas que pueden formarse de un grano de oro.*

Una onza de oro puede cubrir un cilindro de plata que haciéndolo pasar por los agugeros de una plancha de acero, cuyos diámetros disminuyen sucesivamente se estiende á ochenta y cinco leguas de á veinte y cinco al grado. Aplanando este hilo se aumenta un séptimo, y como está dorado por ambas caras viene á formar dos superficies de noventa y siete leguas cada una, que es decir que la onza de oro se estiende á ciento noventa y cuatro leguas, y si las consideramos divididas en pulgadas calculando las partículas que comprehenden, resultará un número casi infinito. Reaumur computa que se adelgaza esta tela de oro en términos de no exceder un treinta y dos mil quinientos avos de una línea.

Computando el número de partículas de oro estendidas sobre un hilo de plata, que se habia formado en un cilindro de diez y ocho grammas de peso dedujo Beudant que ascendian á setecientos setenta y ocho millones de partes visibles, pues estendiéndose á seis mil metros de longitud, y estando dorado por ambas caras podrán suponerse doce mil metros,

* Brisson. Principios de Física.

y como puede dividirse en cuatro partes su ancho, resultarán cuarenta y ocho millones de milímetros, y en cado uno pueden verse fácilmente diez y seis partes, de cuya multiplicacion resulta el número de partículas que hemos dicho. Pero hasta ahora se ha considerado el hilo en su parte superior é inferior solamente, luego agregando la de los costados, producirán igual número de partículas, y será la suma total novecientos sesenta millones de partes perceptibles á simple vista. (Vease Beudant, pag. 97.)

Esperimento 4°.—Con un corto número de granos de carmin se dá color á gran porcion de agua con la cual se pueden pintar muchos pliegos de papel, que divididos en pequeños cuadros, asignándole á cada uno cuando menos veinte partículas, nos dará un número extraordinario de ellas, que todas han salido de la corta porcion de carmin. Los tintoreros con muy corta porcion de sustancia tiñen una pieza de paño si separamos sus hilos, todos los encontrarémos teñidos. Formemos de estos hilos unos pequeños círculos y distingámos por lo menos trescientas sesenta partes segun los grados matemáticos en cada uno. ¡Que multitud de círculos! ¡Cuantas partículas que todas han salido de la pequeña pasta de que usó el tintorero!

Considerando el pliego de papel como un paralelogramo, podemos tirar una paralela á su base que no diste de ella mas que el espacio de una línea, y luego por unas verticales entre dichas paralelas, pueden formarse cien divisiones bien sensibles. Tirando despues otra paralela á uno de los lados que forman la altura, podemos hacer igual division en pequeños paralelogramos, hasta el número de doscientos, y por tanto deducirémos todos los pequeños paralelogramos que podrian formarse en la superficie del pa-

pel, multiplicando la base por la altura y como pueden suponerse hasta veinte partículas en cada pequeño paralelogramo, tendremos que el numero total de partículas es como 200+100+20=400000, pero con el peso de dos á tres granos pueden pintarse seis superficies semejantes cuando menos, luego dicha cantidad de materia está dividida en 400000+6= 2400000. Debe advertirse que es mucho mayor la division real de la materia en este caso, pues en los pequéños paralelogramos habria tál vez mas de mil partículas colorantes, cuando solo hemos supuesto que haya veinte. Sigaud de la Fond, hizo este esperimento de otro modo, disolvió una corta cantidad de carmin en una masa de agua considerable y toda ella adquirió color, dividiendo en granos el peso total de agua, sacó un número casi infinito que comparado con los granos que pudiera pesar la corta cantidad de carmin, presentaba la division casi infinita de la materia. Supongamos en la cantidad de agua del peso de un grano cierto número de partículas, v. g. veinte, y multiplicando por él sacaremos la totalidad. Si cuatro libras de agua se han teñido con el peso de seis granos de materia colorante, reduciendo las libras á granos, será 36874 granos y multiplicando por veinte, será 737280.

Por el mismo método demostró Boile que un grano de cobre disuelto en espíritu de sal amoniaco, dió color a sesenta y siete pulgadas cúbicas de agua, y suponiendo que en cada parte visible se hallara una partícula de cobre, resultaria que el grano estaba disuelto en diez y seis mil seiscientos treinta y dos millones de partes visibles en cada pulgada cúbica, cuyo número multiplicado por las sesenta y siete pulgadas, daría un millón doscientos ochenta mil, seis-

cientos setenta y cuatro. Segun Beudant, cinco centigramas (un grano, y quinientos treinta y siete mil seiscientas sesenta y cinco mil millonésimas) del polvo *de azul de cuatro fuegos** pueden dar color á diez quilogramos de agua que encierran diez mil centrimetros cúbicos y cada centrimetro (veinte granos trecientos y siete mil trescientos treinta y tres diez millonésimas de granos) incluye mil milimétros cubicos, y los diez kilogramos incluyen diez millones de milimétros cúbicos. Advirtiendo que en cada milimétro cúbico hay una particula colorante, tendremos que dichos polvos se han dividido en diez millones de particulas, que todas ellas componen el peso y volúmen de un grano de trigo.†

Observaciones microscópicas. En una gota de agua se han observado tantos animales y tan sutíles que segun Keill diez mil descientos cincuenta y seis

* El azul de que se trata no es mas que una combinacion del cobalto purificado cuatro veces. El oxido, de cobalto ó *safra* mezclado con disolventes vitrios, forma lo que en las artes se llama azul para las vajillas de barro, de loza y de porcelana. Hé aquí el método con que se procede.

Se funde una mezcla de safra, de silica y de azufre, á fin de formar un vidrio opaco de un bello azul puro y oscuro llamado esmalte, se pulveriza este esmalte, se pasa por la piedra y se deslie en unos toneles llenos de agua. La porcion que se precipita es el azul mas grueso, se decanta el agua cargada de un precipitado mas fino que se asienta tambien, se sacan de este modo, sucesivamente cuatro azules de diferentes calidades, llamándose el mas fino *azul de cuatro fuegos*: deberia mas bien llamársele *azul de cuatro aguas*. En las artes se encuentran con frecuencia unos nombres tan ridículos, inventados por la avaricia, para cubrir con un velo espeso los procedimientos en las manufacturas. (Cadet. Diccion. de Chimic. artic. azul de cobalt.

† Beudant Essai des Sciences Phisiques, pag. 96.

montes iguales al pico de Tenerife contendrían menor número de granos de arena, siendo cada uno, una millonésima parte de un dedo cúbico, que el número de las particulas de sangre de estos insectos; que sería necesario para formar uno de dichos granos de arena.*

Lewenoeck, observó unos animalitos cuyo diametro era mil veces menor que el de un grano de arena comun, y por consiguiente sus magnitudes serian a la de dicho grano, como el cubo de uno al de mil que es decir como de uno á mil millones.† Calculó el citado autor que para formar un centimetro cúbico, seria preciso cincuenta millones de animalitos y que en la punta de una aguja podían sostenerse muchos millares de ellos,‡ y como todos estos animales, debian constar de innumerables partes, se infiere que la materia está realmente dividida en la naturaleza, hasta un numero casi infinito ó cuyo limite no percibimos.

El Padre de Lanis con un microscópio que aumentaba los objetos siete millones de veces, observó un animal muy blanco semejante á un grano de trigo, y que con movimiento muy rápido á penas pudo correr la misma estension de un grano de trigo en doce minutos.§

Malezieux|| con un excelente microscópio, descubrió unos animalillos veinte y siete millones de veces menores que un arador. En un grano de polvo descubrió Wolfio quinientos huevos, de los que nacieron

* Véase a Guevara.
† Brisson Dicc. de Fisica.
‡ Beudant. pag. 59.
§ Magist. Nat. et Art. perfect.
|| Inst. Phys. Lugd. tom. 4. pag. 16.

otros tantos animales muy semejantes á los peces, y con todas sus partes proporcionadas y completas.

Los hilos de araña antes que éllas los junten para formar su tela, son, comparados con un cabello, como el hilo de oro de que hablamos en el experimento 3°. a un cilindro de quince lineas de diámetro, segun las observaciones de Reaumur.

La divisibilidad de la materia se ha manifestado tambien por demostraciones geométricas. Si entre dos lineas paralelas *ab*, *cd*, (Lám. 1. fig. 1.) tiramos la diagonal *ad*, podremos, considerando la línea *cd*, prolongada á lo infinito, ir adelantando diagonales que todas salgan del punto *a*, y terminen en un punto de la linea *cd*, sin que nunca se confunda la diagonal con la línea *ab*, y por consiguiente nunca llegará á correr el espacio *rs*. Luego este espacio se dividirá en partes infinitas.

No hay duda que dos paralelas prolongadas á lo infinito, jamás se unen y por consiguiente la diagonal que ha de estar tocando en una y otra; no puede identificarse con ninguna de ellas, aunque se prolongue á lo infinito. Advirtamos igualmente que siendo las diagonales imaginarias unas líneas rectas, solo pueden tener un punto comun y este sería el punto *a*, de donde todas salen: luego en el espacio *rs*, cada diagonal ocuparía un punto diverso: luego siendo las diagonales infinitas los puntos tambien lo son: luego la materia contenida en el espacio *rs*, puede considerarse dividida en puntos infinitos.

Demostracion 2a. Supongamos dos líneas perpendiculares *ac*, *af*. (Lám. 1. fig. 2.) Descríbase desde el punto *c*, un círculo que pase por el punto *a*. Succesivamente desde los puntos *rs*, descríbanse otros circulos que á proporcion de lo que se aumenta su rádio, ó se aparta del punto *c*, irán aproximándose

las circunferencias á la tangente *baf*, aunque consideramos el radio prolongado á lo infinito, nunca se uniría la circunferencia con la tangente, segun demuestran los geómetros: luego entre el primer círculo y su tangente pasarian infinitas curbas de otros tantos círculos y el espacio *m n* estaria dividido en partes infinitas.

Probarán estas demostraciones que la materia es infinitamente divisible? Muy lejos estoy de creerlo. La matemática habla de la estension ideal y sus pruebas sacadas de la simple idéa que tenemos, no persuaden que en la naturaleza puede efectuarse lo que el matemático finge. Podríamos deducir de otras doctrinas matemáticas que hay un término en la division de la materia, pues si se dice que el punto matemático es indivisible y que los cuerpos se componen de puntos: luego hay partes indivisibles en la estension corpórea. Yo que no quiero adivinar, dejaré al que se deleite con inútiles sutilezas el trabajo de profundizar en este asunto. Solo diré que me parece fundado el teorema con que concluye S'Gravesande en su tratado de divisibilidad, esto es: que "dada una partícula de materia por mas pe-" queña que sea y dado un espacio por mas grande " que se suponga es posible llenarlo con dicha par-" tícula, en términos que no haya un poro del dia-" metro de una línea."

La forma total ó esterior de los cuerpos es tan varia, que Leibnitz, llegó á pensar que seria imposible que se hallasen dos cuerpos en la naturaleza enteramente iguales; pero la forma de las partículas que componen los cuerpos, es mas constante y en esta materia han recibido la Física y la Mineralogía mucha perfeccion por los trabajos de Haüy cuya doctrina espondremos brevemente.

Dividiendo un cuerpo encontramos muchas partes de forma irregular, y observando una de estas se advierte que tiene ciertas junturas que ellas mismas indican que pueden dividirse, y dichas junturas no se presentan de un mismo modo en las partículas de todos los cuerpos; pero si en todas las de un mismo cuerpo, de donde inferimos claramente que la division ha de ser diversa en cada cuerpo. Si se divide con un instrumento cortante, se llama *division mecánica*, distinguiendola de la division química que se hace por algunos líquidos disolventes ó por otras causas que alteren la naturaleza de la parte dividida, separando los verdaderos principios de que esté compuesta; y así en la division mecánica de una sal, siempre resultan partes de la naturaleza de sal; pero en la division química, resultan partes que no son salinas.

Practicando la division mecánica, se encuentran partes de forma regular ó que presentan uno de los sólidos regulares geométricos. Estas partes se llaman *cristales* de aquel cuerpo, y así no debe entenderse bajo este nombre precisamente una substancia parecida al vidrio como se entiende por lo comun; sino toda parte de forma regular aunque sea de una piedra ó de otro cuerpo.

De la division de uno de estos cristales, resulta un *nucleo* ó parte interior que es como un centro al rededor del cual tenia agregadas muchas láminas. Este nucleo es siempre de una misma forma en todos los cristales de una misma naturaleza, aunque varíen mucho en su forma exterior y estén mezclados con otros muchos principios; y por eso la llamó Haüy *forma primitiva*, de modo que decir la *forma primitiva* de un cuerpo, es lo mismo que decir la

forma constante que tienen los nucleos de los cristales de que está compuesto. Todas las formas que se diferencian de la primitiva, y que resultan de un agregado de partes, se llaman *formas secundarias.*

Las formas primitivas que se conocen, son de seis especies: primera de cuatro caras, siendo cada una de ellas un triángulo de lados iguales:* segunda de seis caras terminadas por líneas paralelas, ó seis paralelogramos, de los cuales los opuestos son tambien paralelos entre sí: v. g. el de arriba con el de abajo: tercera de ocho caras formadas por triángulos de diversas especies:‡ cuarta de seis caras que cada una es un cuadrado perfecto, en términos que forman la figura de un dado:§ quinta de doce caras que cada una de ellas es terminada por líneas iguales; pero sus ángulos no lo son:‖ sexta de doce caras que resultan de reunir por sus bases, dos pirámides rectas teniendo cada una de ellas seis caras.¶ De estas formas primitivas, las que se encuentran con mas frecuencia son las mas regulares, como el cubo y el octaedro.**

Diviendo uno de estos nucleos ó formas primitivas hasta donde se pueda, y aun continuando imaginariamente la division, se tendrán unas partes pequeñas de la misma forma qué el nucleo, y estas partículas que de algun modo exceden los límites de la division mecánica, y que reunidas forman los nucleos ó formas primitivas, se llaman *moléculas inte-*

* Tetraedro.
† Paralelipipedo.
‡ Octaedro.
§ Exaedro.
‖ Dodecaedro Romboidal.
¶ Dodecaedro Triangular.
** Klaproth, Dicc. de Química artíc. Cristalizacion.

grantes, que siempre son de la naturaleza del nucleo, pues siempre la division es mecánica, y nunca resuelve en partes de distinta naturaleza.

Las formas mas simples de estas moléculas integrantes, pueden reducirse á tres: 1ª el prisma triangular que es el mas simple de los prismas: 2ª el tetraedo ó pirámide triangular: 3ª el paralelipipedo que tiene seis lados paralelos de dos en dos; tales son, dice Haüy, las tres figuras elementales, que producen está gran variedad de cristales, que la naturaleza ofrece á nuestra observacion. Se advierte en esto lo que podemos llamar su divisa familiar, *economia y simplicidad en los medios, riqueza y variedad inagotable en los efectos.*

En los nucleos ó formas primitivas se apoyan como hemos dicho vários órdenes de partículas por distintos lados, para constituir las formas secundarias, y estos ordenes de partículas se llaman láminas de *superposicion*, por que están sobrepuestas á los nucleos. Estas láminas van decreciendo, esto es, que la segunda no se estiende tanto como la primera, y así sucesivamente, de modo que forman muchas veces una pirámide, y ésta, agregada á una de las caras de un nucleo cúbico, es claro que debe formar un cristal de distinta figura, y mucho mas si suponemos que á cada lado del cubo se le agrega una de estas pirámides por sus bases.

Como los cristales que resultan de estas superposiciones no tienen la figura del nucleo, se llaman *decrecimientos* aquellas alteraciones que sufre por irse minorando los órdenes de partículas, aunque en realidad haya un aumento de ellas respecto del nucleo. Considerando pues lo forma primitiva en un cristal, y la forma secundaria, se vé lo que falta á esta última por uno ú otro lado, para tener la forma de aquella, y este es el decrecimiento ó diminucion.

Haüy ha observado varias clases de decricimientos: 1°. *sobre los bordes*, que es decir, paralelamente á los lados del nucleo: 2°. *sobre los ángulos*, esto es, formando unos planos que corresponden á los ángulos del nucleo, y que son paralelos á una diagonal que se tira en uno de los lados de dicho nucleo: 3°. el *decrecimiento intermedio*, que se hace formando planos paralelos á unas líneas, que se hallan entre la diagonal tirada en los lados de la forma primitiva, y uno de estos lados: 4°. el *decrecimiento mixto* que se hace en dos direcciones, esto es, formándo planos paralelos á dicha diagonal, y otros paralelos á las líneas intermedias.

Estas doctrinas de Haüy han servido para clasificar las sustancias por unos datos constantes como son las formas primitivas, y no por el color y otras propiedades sujetas á muchas equivocaciones, y han hecho salir la Mineralogía del estrecho círculo de frases descriptivas. Muchas sustancias que se creían idénticas, se tienen ya por diversas, y al contrario. El berilo y la esmeralda se tenian por piedras distintas, porque no se habian podido encontrar en ellos principios idénticos, hasta que Vanquelin aprovechándose de la teoría de la cristalizacion, llegó á sacar de la esmeralda la misma especie de tierra que habia descubierto en el berilo. Estos mismos trabajos de Haüy han conducido posteriormente á Klabroth y al citado Vanquelin, al descubrimiento de algunas nuevas especies de tierra y de metales.

Fundado en los mismos principios ha deducido Beudant el número de las moléculas integrantes, que deben agregarse á un nucleo, para formar los distintos cristales. Un cubo no se formará si las moléculas, no se reunen en números cúbicos como 8, 27, 64, &c., y con cualquiera de estos números podrán

fórmarse láminas cuadradas y parelelipipedos rectangulares; pero no otros sólidos.

Cuando el numero de las particulas sea 8, 28, 46, 87, &c., se formarán octaedros regulares; pero no otra figura simple.

Los dodecaedros resultan de los números 30, 185, 553, &c., y estos números nunca produciran un cubo ni un octaedro.

Se formará un sólido de viente y cuatro caras triangulares, cuando las moléculas se reunan en número de 151, 883, 1963, &c.

Mas como advierte el mismo autor, no debe creerse que la naturaleza forma los cristales siempre por órdenes sucesivos, sino muchas veces de un solo golpe, y en un momento. Muchos de los mayores se componen de otros de la misma forma, y tambien de forma diferente habiendo en esto mucha variacion. El *cristal de roca* se compone de otros de la misma forma, y el que se llama *carbonate de cal*, se compone unas veces de cristales de la misma forma y otras de formas diferentes.

El citado Beudant, haciendo varios esperimentos sobre mezclas de distintas sales, ha encontrado hace poco tiempo, que en un cuerpo puede existir una corta cantidad de una sustancia, y que esta lejos de poderse depreciar, dá la forma primitiva de dicho cuerpo. Por el contrario, puede haber una cristalizacion, en que se mezcle una gran cantidad de sustancia estraña sin alterar la forma primitiva. Por esto cree el autor que convendria distinguir dos clases de composiciones, una donde domina la forma primitiva, aunque sea en corta cantidad, y otra donde estos principios ó formas primitivas son mas abundantes. Se ha ratificado asimismo, en que los mineralogistas no tienen otro medio tan seguro como la cristalizacion para determinar las especies de minerales.

Las esperiencias en que fundan estas doctrinas son: 1a. que una mezcla de la sal llamada *sulfate de hierro* y otra que se llama *sulfate de zinc*, toma la forma de la primera de estas sales aunque en el compuesto solo existan quince partes de ella, y ochenta y cinco de la segunda.

2a. Nueve ó diez centesimas de sulfate de hierro, bastan para dar su forma a ochenta y nueve partes de sulfate de cobre.

3a. En una mezcla de sulfate de zinc y sulfate de cobre en partes iguales, basta agregar dos ó tres centésimos de sulfate de hierro, para que comunique su forma a toda la mezcla.*

LECCION II.

De la porosidad.

Las partes mínimas de los cuerpos, no pudiéndose tocar en todos sus puntos dejan innumerable huecos que llamamos poros. La esperencia ha demostrado que no hay cuerpo que no esté lleno de ellos, por mas sólido que parezca; pues el oro, y otros cuerpos de igual firmeza los penetra el agua régia, ú otro liquido semejante. La luz penetra las piedras preciosas sin que la solidez del diamante pueda impedirlo.

Un globo de metal bien cerrado, y lleno de agua si se le amartilla despide como un sudor, saliendo el agua en gotas muy sensibles. La piedra de Bolonia calcinada y encerrada en una caja de metal cualquiera; produce unos vapores que atraviesan la caja y

* Archives des decouvertes pendant l'année 1817, pag. 18.

salen imprimiéndola un color de oro, si la caja es de plata; y color blanco si es de otro metal. Dirémos algo mas de esta piedra, cuando se trate de los fósforos.

Una sal compuesta de cal viva, vinagre destilado, salitre, sel marina, y azufre, puesta al fuego, pasa un crisol de hierro sin dejar señal, y con la misma facilidad que el agua humedece un papel de estraza. Homberg hizo pasar el antimonio preparado, en términos de estar como cera derretida, por una lámina de plata puesta ál fuego. (Véase á Sigaud.)

Dufay presentó á la Academia várias composiciones metálicas para pintar todo género de flores en los marmoles, piedra ágata y otras semejantes, con la particularidad de penetrar todo el marmol, en terminos que partido, presentaba los mismos dibujos, y era capaz de un bruñido el mas fuerte sin imperfeccion de las pinturas. No solo usó de las disoluciones metálicas, sino tambien de várias tinturas por medio de aceites y aun de cera; pero estas preparaciones no producian tan buen efecto. Insertarémos los resultados de estos ensayos de Dufay, que se hallan en Sigaud de la Fond. (Nota 4, á la Seccion segunda.)

Una disolucion de plata por el espíritu de vino. penetra un mármol de una pulgada de grueso, dándole un color que tira á rojo, que despues se convierte en un morado permanente, pero quita el pulimento al mármol.

El oro disuelto en agua régia, penetra menos pero sí lo suficiente para dar un hermoso color de violeta. Ambas disoluciones obran con gran prontitud cuando está espuesto el mármol al sol, ó á un calor moderado.

La disolucion de cobre penetra muy poco; pero fija el color en términos, que resiste la accion del agua hirviendo. Dá un color de rosa que con el tiempo se obsurece; pero se puede avivar con una piedra pomez.

El orín del hierro dá un color amarillo, que penetra profundamente.

Hizo otros ensayos el citado fisico, en los que se necesita para que produzcan todo su efecto, un grado de calor, que es preciso irlo esperimentando con várias repeticiones, y así mismo quitarle con una piedra pomez el pulimento á el marmol, por las partes donde ha de pasar el pincel. Estas tinturas se hacen con espíritu de vino en un matráz, ó vaso quimico, puesto en un baño de arena.

La madera del Brasíl dá una tintura purpúrea, que tira á violeta cuando se calienta el mármol. Tambien se consiguen coloridos diferentes á diferentes grados de calor, pero estos colores se bajan con el tiempo.

La tintura de cochinilla penetra una linea, y dá un color compuesto de encarnado, y purpúreo que se obscurece mientras mas se calienta. (*)

* Cochinilla es un insecto de color pardo gris, cóncavo por un lado, convexo por otro, es algo arrugado y pone sus huevos, en el que se llama *Coctus cocinilla* donde muere; se recoge de varios modos en la opuntia o raqueta Americana. Hay dos especies de Cochinilla, una fina, y otra silvestre; la primera es mas pequeña, pero de mejor color; pues la otra está envuelta en un polvo que se lo disminuye. La hembra no tiene álas, pero si las tiene el macho. Se hace de ella la escarlata, y en su lugar, se han valido muchos del *Coccus polinocus*, insecto que se encuentra en una especie de encina que por este motivo se llama quercus coccifera, pero nunca da tan buen color como la cochinilla. (Cadet. Dicc, de Quim. art. matieres astringentes, matieres Colorantes.

La tintura de ancusa, de un color encarnado hermoso, igualmente obscuro; pero si el mármol está muy caliente el color se vuelve negro.(*)

El tornasol ó guírasol, y la madera de Campeche, dan distintos encarnados.

La tierra merita, (†) el recon y el azafran dan un amarillo dorado El primer color no muda, el segundo palidea, y el tercero desaparece en pocos dias. Dejamos, dice Siguad de la Fond á los aficionados, el cuidado de perfeccionar estos sensayos y de estender una practica, que puede ser muy importante en las artes agradables.

El citado Siguad, quiere probar la porosidad del vidrio, haciendo ver que lo penetra el agua, y para ello refiere que en la escavacion de un pozo, se encontró un anillo de vidrio hermeticamente cerrado y lléno de agua. Por poco instruidos que estemos, dice del proceder que se observa para cerrar cualquier vasíja de vídrio, se concibe desde luego que este anillo, no pudo llenarse antes de cerrase hermeticamente, y que es preciso que se halla llenado insensiblemente y con el tiempo, por medio de sus poros.

Mucho menos me convence la segunda razon que alega fundandose en el esperimento hecho el año de 1740, de introducir una botella con su corcho bien

* La ancusá o lengua de buey, es una planta silvestre de ojas largas, asperas y sutiles, algo rojas y armadas de agudas espinas; echa cantidad de talluelos, y entre las ojas de estos unas flores purpureas, y en ellas unas simientes semejantes a la cabeza de vibora.

† Tierra merita, es una rosina que se saca de la planta llamada *Curcuma rotunda* que se encuentra en las Antillas y en la India Oriental. Recon es una fecula preparada por la fermentacion de las semientes de la bixa orrellana, es de un color rojo obscuro. (Cadet. Dicc de Quim.)

asegurado, á 40 brazas de profundidad, en el mar y haberla sacado casi llena de agua; de donde concluye, que es muy probable que parte de esta agua, entrara por los poros del vidrio. Verdaderamente no veo esta probabilidad, ni encuentro ilacion justa en este discurso. Creo que toda el agua entró por los poros del corcho, y no se por que se niega. No hay duda en que el vidrio es poroso, cuando vemos que dá paso á la luz; pero si lo penetra el agua, no está probado.

La cáscara de los huevos es porosa, supuesto que incluidos en la máquina neumática empiezan á arrojar gotas, como un sudor espeso por la fuerza del aire interno que pretendiendo salir por no tener fuera ningun aire que le contrarreste, empuja los fluídos del huevo, y hace que traspasen su cáscara. Reaumur inventó un modo de conservar los huevos por mucho tiempo, con solo darles un barniz, ó untarles un poco de cera derretida con la precaucion de no untarla muy caliente, ó que el barniz no sea de materias muy penetrantes, por que entónces puede introducirse y perderse la sustancia del huevo. Nollet asegura que á los cinco ó seis meses probó huevos conservados por este medio, y estaban frescos. (Lec. phis. tóm. 1, pág. 99.)

La razon de este efecto no es otra sino que tapados los poros, no puede introducirse, ni salir sustancia alguna del huevo, y así permanece intacto.

Formando un líquido de vinagre destilado, y sal de saturno, se escribe con él y las letras apenas se pueden percibír por ser casi blanco el licor. Este papel así escrito, se pone al principio de un libro de quinientas ojas, y al fin se introduce otro papel mojado en un licor, que es una preparacion de *oro pimente y cal viva* disueltos en agua comun. A los

sa no equivale á cuatro, debiéndose sustraer dos que es el valor de los poros que le suponemos, y este mismo número debería agregarse al del primer poro que habiamos computado. De aquí se infiere que indicando 15 como hemos dicho, la capacidad total, la de los poros sería igual á 8+4+2=14, y la de la materia solida seria 8—4—2=2, y se vé claramente que el número 14 es siete veces mayor que 2. Luego teniendo un cuerpo tres órdenes de partículas que cada una valga la mitad de la otra, ó que sean como dice Newton, iguales en cantidad á sus poros, tendrá siete veces tanta capacidad vacía como partes sólidas ó espacio ocupado por la verdadera materia. Para hacer el cómputo sin fracciones, y poderlo llevar hasta el octavo órden de partículas, representémos el volúmen total de una partícula de primer órden por 156; por 128 la materia que se supone sólida; y por igual número sus poros; entónces suponiéndo la misma diminucion de partículas, espresaríamos la materia sólida y los poros del modo siguiente.

Poros	128+64+32+16+8+4+2+1=255.
Materia sólida	128—64—32—16—8—4—2—1=1.
	Volúmen total, 256.

Aquí hemos considerado una partícula de primer órden como un cuerpo compuesto de otras partículas menores, y haciendo igual consideracion sobre cualquiera cantidad de materia que se nos presente, nos la figuraremos como la particula de que hemos hablado, y será facil formar idéa de la doctrina Newtoniana.

LECCION III.

Masa, volúmen, compresion, rarefaccion, condensacion.

Masa de los cuerpos llamamos la sustancia estensa y sólida de que estan compuestos. Volúmen es el espacio que ocupan á lo largo, ancho y profundo. Algunos cuerpos tienen mucha masa y poco volúmen, v. g. el oro que en una pulgada cúbica tiene gran porcion de sustancia sólida. Otros cuerpos con mucho volúmen, tienen poca masa, como la esponja de donde proviene que en iguales porciones de estos cuerpos pesa una mucho mas que otra, necesitándose muchas pulgadas cúbicas de la esponja para igualar el peso de una de oro.

Compresion llamamos el acto de reducirse un cuerpo á menor volúmen, sin perder de su masa, como por exemplo, si estrechamos fuertemente entre las manos la referida esponja, en términos que se reduzca á poco volúmen, sin perder de su masa, supuesto que nada le hemos quitado.

Todos los cuerpos son compresibles pues está probado que todos tienen poros, por consiguiente son capaces de reunir sus partes mucho mas de lo que estan, siempre que haya una fuerza externa suficiente para ello, y que por su naturaleza no presenten obstaculo quebrandose. Es cierto que todos los cuerpos compresibles no se comprimen con igual facilidad, y que en algunos la compresion es instantanea y casi insensible, mas esto no prueba que en realidad no se compriman.

El oro y demas metales reciben impresion del martillo, lo que no puede ser sin aproximacion de sus partes en el lugar donde recibieron el golpe.

sa no equivale á cuatro, debiéndose sustraer dos que es el valor de los poros que le suponemos, y este mismo número debería agregarse al del primer poro que habiamos computado. De aquí se infiere que indicando 15 como hemos dicho, la capacidad total, la de los poros sería igual á 8+4+2=14, y la de la materia solida seria 8—4—2=2, y se vé claramente que el número 14 es siete veces mayor que 2. Luego teniendo un cuerpo tres órdenes de partículas que cada una valga la mitad de la otra, ó que sean como dice Newton, iguales en cantidad á sus poros, tendrá siete veces tanta capacidad vacía como partes sólidas ó espacio ocupado por la verdadera materia. Para hacer el cómputo sin fracciones, y poderlo llevar hasta el octavo órden de partículas, representémos el volúmen total de una partícula de primer órden por 156; por 128 la materia que se supone sólida; y por igual número sus poros; entónces suponiéndo la misma diminucion de partículas, espresaríamos la materia sólida y los poros del modo siguiente.

Poros	128+64+32+16+8+4+2+1=255.
Materia sólida	128—64—32—16—8—4—2—1=1.
	Volúmen total, 256.

Aquí hemos considerado una partícula de primer órden como un cuerpo compuesto de otras partículas menores, y haciendo igual consideracion sobre cualquiera cantidad de materia que se nos presente, nos la figuraremos como la particula de que hemos hablado, y será facil formar idéa de la doctrina Newtoniana.

LECCION III.

Masa, volúmen, compresion, rarefaccion, condensacion.

Masa de los cuerpos llamamos la sustancia estensa y sólida de que estan compuestos. Volúmen es el espacio que ocupan á lo largo, ancho y profundo. Algunos cuerpos tienen mucha masa y poco volúmen, v. g. el oro que en una pulgada cúbica tiene gran porcion de sustancia sólida. Otros cuerpos con mucho volúmen, tienen poca masa, como la esponja de donde proviene que en iguales porciones de estos cuerpos pesa una mucho mas que otra, necesitándose muchas pulgadas cúbicas de la esponja para igualar el peso de una de oro.

Compresion llamamos el acto de reducirse un cuerpo á menor volúmen, sin perder de su masa, como por exemplo, si estrechamos fuertemente entre las manos la referida esponja, en términos que se reduzca á poco volúmen, sin perder de su masa, supuesto que nada le hemos quitado.

Todos los cuerpos son compresibles pues está probado que todos tienen poros, por consiguiente son capaces de reunir sus partes mucho mas de lo que estan, siempre que haya una fuerza externa suficiente para ello, y que por su naturaleza no presenten obstaculo quebrandose. Es cierto que todos los cuerpos compresibles no se comprimen con igual facilidad, y que en algunos la compresion es instantanea y casi insensible, mas esto no prueba que en realidad no se compriman.

El oro y demas metales reciben impresion del martillo, lo que no puede ser sin aproximacion de sus partes en el lugar donde recibieron el golpe.

sa no equivale á cuatro, debiéndose sustraer dos que es el valor de los poros que le suponemos, y este mismo número debería agregarse al del primer poro que habiamos computado. De aquí se infiere que indicando 15 como hemos dicho, la capacidad total, la de los poros sería igual á $8+4+2=14$, y la de la materia solida seria $8-4-2=2$, y se vé claramente que el número 14 es siete veces mayor que 2. Luego teniendo un cuerpo tres órdenes de partículas que cada una valga la mitad de la otra, ó que sean como dice Newton, iguales en cantidad á sus poros, tendrá siete veces tanta capacidad vacía como partes sólidas ó espacio ocupado por la verdadera materia. Para hacer el cómputo sin fracciones, y poderlo llevar hasta el octavo órden de partículas, representémos el volúmen total de una partícula de primer órden por 156; por 128 la materia que se supone sólida; y por igual número sus poros; entónces suponiéndo la misma diminucion de partículas, espresaríamos la materia sólida y los poros del modo siguiente.

Poros . . . . $128+64+32+16+8+4+2+1=255.$

Materia sólida . . . . $128-64-32-16-8-4-2-1=1.$

Volúmen total, 256.

Aquí hemos considerado una partícula de primer órden como un cuerpo compuesto de otras partículas menores, y haciendo igual consideracion sobre cualquiera cantidad de materia que se nos presente, nos la figuraremos como la particula de que hemos hablado, y será facil formar idéa de la doctrina Newtoniana.

LECCION III.

Masa, volúmen, compresion, rarefaccion, condensacion.

Masa de los cuerpos llamamos la sustancia estensa y sólida de que estan compuestos. Volúmen es el espacio que ocupan á lo largo, ancho y profundo. Algunos cuerpos tienen mucha masa y poco volúmen, v. g. el oro que en una pulgada cúbica tiene gran porcion de sustancia sólida. Otros cuerpos con mucho volúmen, tienen poca masa, como la esponja de donde proviene que en iguales porciones de estos cuerpos pesa una mucho mas que otra, necesitándose muchas pulgadas cúbicas de la esponja para igualar el peso de una de oro.

Compresion llamamos el acto de reducirse un cuerpo á menor volúmen, sin perder de su masa, como por exemplo, si estrechamos fuertemente entre las manos la referida esponja, en términos que se reduzca á poco volúmen, sin perder de su masa, supuesto que nada le hemos quitado.

Todos los cuerpos son compresibles pues está probado que todos tienen poros, por consiguiente son capaces de reunir sus partes mucho mas de lo que estan, siempre que haya una fuerza externa suficiente para ello, y que por su naturaleza no presenten obstaculo quebrandose. Es cierto que todos los cuerpos compresibles no se comprimen con igual facilidad, y que en algunos la compresion es instantanea y casi insensible, mas esto no prueba que en realidad no se compriman.

El oro y demas metales reciben impresion del martillo, lo que no puede ser sin aproximacion de sus partes en el lugar donde recibieron el golpe.

tres ó cuatro minutos se encontarán las letras enteramente negras; por haber pasado el último liquido á unirse con el primero penetrando todas las hojas sin dejar vestigio sensible en su transito. Estos liquidos reunidos, se vé efectivamente que toman con prontitud el color negro.*

Segun las observaciones de Lewenoek, pueden contarse en el cuerpo humano 120 poros en el espacio de una línea, y por tanto en el espacio de un pie, habrá setecientos cincuenta millones, trescientos diez y ocho mil cuatrocientos: y en un pie cuadrado diez mil seiscientos dos millones cuatrocientos cincuenta y siete mil seiscientos; y como la superficie de un hombre de mediana estatura, está computada que contiene $14\frac{2314}{4298}$ pies cuadrados, se infiere que multiplicando por este numero el de los poros que hemos sacado en un pie cuadrado, dará once mil cuatrocientos veinte y nueve millones, trescientos ochenta y dos mil nuevecientos setenta y dos poros en todo el cuerpo humano, despreciando la fraccion $\frac{2344}{4298}$.

Adviértase que este cómputo, esta fundado en las medidas inglesas, pues á ellas pertenecia la línea en que observó Lewenoek 120 poros; mas si lo reducimos á medidas castellanas, será $16\frac{1}{3}$, pies cuadrados.

Newton presenta la causa de la diversa porosidad de los cuerpos en las palabras siguientes. "Si concebimos que las partículas pueden estar dispuestas, " de tal modo que los intervalos ó espacios vacíos " que hay entre ellas, sean iguales en cantidad a la " suma de todas estas particulas: que estas esten " compuestas de otras mas pequeñas; que tengan " entre ellas espacios vacíos de una cantidad igual á

* Nollet Lec. de Phy. tóm. 4 pág. 70.

" la de todas estas mas pequeñas partículas; por úl-
" timo que estén igualmente compuestas de otras
" muchas mas pequeñas, que sean todas juntas igua-
" les á todos los poros ó espacios vacíos que hay en-
" tre ellas, y así de seguida hasta que se llegue á
" unas partículas sólidas que no tengan poros; ten-
" dremos que el cuerpo en que haya por exemplo,
" tres semejantes grados de partículas, de las que
" las menores sean sólidas, contendrá en sí siete ve-
" ces tantos poros como partes sólidas; que si hay
" cuatro grados de partículas, de las que las meno-
" res sean sólidas, tendrá el cuerpo quince veces
" tantos poros como partes solidas; sí cinco grados,
" el cuerpo tendrá treinta y una veces tantos poros co-
" mo partes sólidas: si seis; contendrá el cuerpo se-
" senta y tres veces tantos poros, como partes sóli-
" das; y así de seguida contínuamente." (Newton, Trat. de Opt. lib. 2º part. 3, propos. 8, pag. 313.)

Para formar una idéa mas clara de esta doctrina de Newton, figurémonos una partícula que tenga un poro, y que la capacidad Geométrica de éste, sea igual á la de lá materia sólida de dicha partícula; de modo que si representamos por el número 16 el volúmen total de la partícula con su poro, debe entenderse que la materia equivale á ocho, y el poro tambien á ocho. Figurémonos ahora que la materia que hemos supuesto sólida, para darle el valor de ocho, en realidad no lo es, y que tiene dos poros que equivalen tambien á la mitad de su valor, esto es, á cuatro; luego al primer poro á quien le habiamos dado el valor da ocho debe agregarse cuatro, valor de estos nuevos poros y á la materia que suponiéndola sólida tenia el valor de ocho; deberá quitárse los mismos cuatro, para dejarla en su verdadero valor. Si continuamos las mismas reflexiones acerca de las nuevas partículas, diremos que la ma-

sa no equivale á cuatro, debiéndose sustraer dos que es el valor de los poros que le suponemos, y este mismo número debería agregarse al del primer poro que habiamos computado. De aquí se infiere que indicando 15 como hemos dicho, la capacidad total, la de los poros sería igual á 8+4+2=14, y la de la materia solida seria 8—4—2=2, y se vé claramente que el número 14 es siete veces mayor que 2. Luego teniendo un cuerpo tres órdenes de partículas que cada una valga la mitad de la otra, ó que sean como dice Newton, iguales en cantidad á sus poros, tendrá siete veces tanta capacidad vacía como partes sólidas ó espacio ocupado por la verdadera materia. Para hacer el cómputo sin fracciones, y poderlo llevar hasta el octavo órden de partículas, representémos el volúmen total de una partícula de primer órden por 156; por 128 la materia que se supone sólida; y por igual número sus poros; entónces suponiéndo la misma diminucion de partículas, espresaríamos la materia sólida y los poros del modo siguiente.

Poros	128+64+32+16+8+4+2+1=255.
Materia sólida	128—64—32—16—8—4—2—1=1.

Volúmen total, 256.

Aquí hemos considerado una partícula de primer órden como un cuerpo compuesto de otras partículas menores, y haciendo igual consideracion sobre cualquiera cantidad de materia que se nos presente, nos la figuraremos como la particula de que hemos hablado, y será facil formar idéa de la doctrina Newtoniana.

LECCION III.

Masa, volúmen, compresion, rarefaccion, condensacion.

Masa de los cuerpos llamamos la sustancia estensá y sólida de que estan compuestos. Volúmen es el espacio que ocupan á lo largo, ancho y profundo. Algunos cuerpos tienen mucha masa y poco volúmen, v. g. el oro que en una pulgada cúbica tiene gran porcion de sustancia sólida. Otros cuerpos con mucho volúmen, tienen poca masa, como la esponja de donde proviene que en iguales porciones de estos cuerpos pesa una mucho mas que otra, necesitándose muchas pulgadas cúbicas de la esponja para igualar el peso de una de oro.

Compresion llamamos el acto de reducirse un cuerpo á menor volúmen, sin perder de su masa, como por exemplo, si estrechamos fuertemente entre las manos la referida esponja, en términos que se reduzca á poco volúmen, sin perder de su masa, supuesto que nada le hemos quitado.

Todos los cuerpos son compresibles pues está probado que todos tienen poros, por consiguiente son capaces de reunir sus partes mucho mas de lo que estan, siempre que haya una fuerza externa suficiente para ello, y que por su naturaleza no presenten obstaculo quebrandose. Es cierto que todos los cuerpos compresibles no se comprimen con igual facilidad, y que en algunos la compresion es instantanea y casi insensible, mas esto no prueba que en realidad no se compriman.

El oro y demas metales reciben impresion del martillo, lo que no puede ser sin aproximacion de sus partes en el lugar donde recibieron el golpe.

Tirada una bola de acero ó marfil perpendicularmente sobre un plano pintado levemente de un color encarnado ó con una capa muy tenué de cera derretida, resulta que en el primer caso queda el globo con una parte considerable pintada del color que tenia el plano, y en el segundo deja un circulo notable impreso en la cera. Pero sabemos que una esfera no puede tocar á un plano sino en un punto; luego para que el globo cayendo perpendicularmente tocase el plano con todo el segmento que resulta pintado ó impreso en la cera, fué preciso que se comprimiesen sus partes y se aplanacen prontamente, restituyéndose con igual prontitud, segun lo vemos; luego el marfil, acero y otros cuerpos semejantes son compresibles.*

Beudant† juzga que este esperimento no es muy concluyente, pues atribuye el efecto á una separacion de las partículas, así del globo como del plano en que cae, y no á una verdadera compresion, por que no es menor el volúmen, supuesto que aumenta por una parte lo que pierde por otra; y el globo solo muda de figura, pero una verdadera compresion, exige que las partículas se reduzcan á menor volúmen, y no que se separen yendo hácia los costados. Tal es en sustancia la reflexion del citado físico; pero advirtámos que las partículas del marfil, ó de o cuerpo se reuniran mas fácilmente hácia el cendel globo, pues ésto conspira con la direccion de fuerzas atractivas, que no separarse hácia los larompiendo por decirlo así las cadenas de la atracque las llaman al centro. Por tanto, yo creo el separarse hácia los lados una porcion de las culas del marfil, es efecto de la verdadera com-

ease á Almeyda.
sai des Sciences Physiques, pag. 114.

presion que se egerce en la columna vertical, ó enla direccion del choque; de modo que aunque se concediera que la totalidad del marfil quedaba con un mismo volumen, siempre se daria una verdadera compresion.

En una adicion al tratado de compresibilidad, presenta otra dada sobre la consecuencia que se ha sacado de dicho esperimento, la cual dice que no es exacta, por que este efecto, puede provenir de la fuerza del aire que se escapa rápidamente de la parte en que cae el globo, y en prueba de esto hace observar, que la mancha presenta como unos rayos que salen del centro en que cayó el globo. Muchas veces dice que ha observado que la mancha circular permanece con la sustancia grasienta que se untó al plano, y el desalojo de esta materia se verifica a mayor distancia. En consecuencia infiere que si el esperimento se practicara en el vacio, daría un resultado muy distinto.

Es innegable que el aire puede arrojar la materia que se halla sobre el plano, pero ésta no puede ser la única causa del efecto que observamos. Basta para convencernos advertir que si se tira un cuerpo de figura cúbica, ó de otra que pueda hacer tocar uno de sus lados en muchos puntos sobre el plano, y que por consiguiente oprima una columna mayor de aire, sin embargo no será tan notable el desalojo de la sustancia que se halle sobre el plano, debiendo ser mayor por la causa que hemos dicho. Y efectivamente es digno de advertise, que apenas se separa la pintura dos ó tres líneas al rededor de un cuerpo cúbico, que se tira en dicho plano, y si arrojamos un globo, formará una mancha, hasta seis ú ocho líneas de diametro, siendo así que solo tenia el contacto de un punto, luego ésta diferencia tan notable, se debe a la compresion ó aplanamiento del globo, pues la co-

lumna de airé es menor ó á lo menos puede escapar mas fácilmente, por los lados de una esfera que no de un cubo. Por lo que hace al esperimento en el vacío debe producir el mismo efecto poco mas ó menos, pues acabamos de manifestar que el aire no es causa suficiente para producirlo. Advertimos tambien que oprimiendo un globo gradualmente sobre dicho plano, produce el efecto aunque no tan notable, y esto parece que demuestra que se debe á la compresion de las particulas del globo, y no a la salida rápida del aire que aquí no puede suponerse.

Sin embargo de todo lo espuesto yo convengo con el sábio Beudant, en que los Fisicos no han tenido razon para establecer la compresibilidad, como propiedad general de todos los cuerpos, pues hay una multitud de ellos que por su rigidez como la piedra pomez, no son capaces de una compresion á lo menos sensible, y las compresiones insensibles no siendo apreciables, ni pueden determinarse ni ponen á los cuerpos en una verdadera relacion con nosotros, que es lo que llamamos una verdadera propiedad y en lo que parece que debe ocuparse la Fisica ; pues lo que no podemos reducir á menor volúmen para nuestros usos, no es para nosotros compresible.

La duda principal de los fisicos ha sido sobre los cuerpos líquidos, como el agua que algunos creían incompresible, por la siguiente esperiencia de la Académia del cimento.

Un globo de oro hueco lo llenaron perfectamente de agua, cerrandolo despues con lo misma materia del oro, ó hermeticamente* y lo amartillaron de un modo que se aplanase por algunas partes. Midi-

* Hermes inventó y puso en práctica este modo de cerrar los tubos de cristal ó de otra sustancia con su misma materia.

endo geométricamente la capacidad del globo, se encontró la misma que antes de aplanado. Pero sabemos que con una misma superficie, un vaso esférico tiene mas capacidad que otro alguno.* Luego fué preciso que se aumentase la superficie del oro para que resultara una misma capacidad antes y despues de aplanado el globo.

Esto dicen que prueba que el agua es incompresible. Nada menor que eso. Lo único que prueba es que resiste á la compresion en términos de vencer la fuerza del oro. *Podriá responderse tambien, que puede ser que el agua haya sido comprimida en el primer instante, y que al restablecerse á su estado, por la fuerza de su elasticidad haya producido la estension del metal.*†

Tomese un tubo de cristal encorvado *b*, (Lam. 1. fig. 3.) que tenga lo menos 4 pies de largo cerrado por la parte *e*. Echese un poco de agua, y sobre ella azogue, en términos que haga subir él agua á la parte *x e*. Señálase con una hebra de seda en *x*, el lugar donde se une el agua con el azogue despues se acaba de llenar el tubo de azogue, cuyo peso es muy considerable; y sin embargo no se estrecha mas el agua. Mas este esperimento prueba la dificil compresion del agua; pero no su imposibilidad.

En el diario de Física perteneciente al mes de oc-

* Los sólidos son como los planos que los forman, y manifestandose que un círculo tiene mayor superficie que otra figura cualquiera de igual perimetro, se infiere claramente que el sólido ó la capacidad formada por la revolucion de un círculo sobre su diámetro, es mayor que la que se produjere por otro plano sea cual fuere.

† Brisson Elem. Fisic. tóm. 1° pág. 96.

ser elástico un cuerpo es preciso que sea compresible. Luego los líquidos son compresibles, aunque resisten mucho mas que los sólidos á la compresion, y esta es una propiedad general de los cuerpos.

Cuando los cuerpos por la accion del frio se reducen á espacio menor del que ocupaban, es decir, cuando se reunen sus partículas, se llama este acto *condensacion*. Está probado que la *condensabilidad* le conviene á todos los cuerpos, sabiéndose como se dirá despues, que el frio tiene lugar en todos, y un cuerpo que se enfria, pierde gran parte de su *calórico*, que es la causa que sostiene separadas sus partes, y por consiguiente faltando, deben reunirse y quedar reducido á menor volúmen. Todo esto lo espondrémos en la Física particular, pues solo intentamos dar una idéa de las propiedades mas conocidas en la materia.

El calor que penetra igualmente todos los cuerpos, tiene gran fuerza, y hace aumentar el volúmen; á lo que llamamos *rarcfaccion ó dilitacion*,* propiedad que conviene á casi todos los cuerpos.† Sobre la dilatacion de los sólidos se ha creído hasta ahora poco tiempo, que era proporcional á los grados de calor en términos que el hierro se dilata $\frac{1}{3001}$ el cobre $\frac{1}{4300}$ y el vidrio $\frac{1}{3600}$ de línea en todas direcciones por cada grado de calor, medido pór el termó-

* Brisson pretende que la palabra *dilatarse* no se aplique sino á los metales, y que *enrrarecerse* convenga con especialidad á los fluidos, mas nosotros no hallamos necesaria esta diferencia, y entre los físicos se dice frecuentemente que el aire se dilata, aunque á la verdad no es costumbre decir que un metal se enrarece.

† El barro y otros muchos cuerpos pierden el volúmen por la accion del calórico, pues la evaporacion los hace perder alguna cantidad de materia, y las partículas se aproximan mucho mas, sinembargo el mismo barro despues de cocido admite dilatacion.

metro de Reaumur, y así para calcular la dilatacion de una masa determinada con un aumento de calor conocido, se creyó que bastaba multiplicar la fraccion que indicara el termómetro. Posteriormente ha demostrado Dulong con esperiencias muy ecsactas que las dilataciones no siguen un órden constante, ni se conforman con los grados de calor adquirido, notándose esto mucho mas en la platina. (Beudant, pág. 397.)

La tabla adjunta indica la dilatacion de las diversas sustancias segun las esperiencias de Lavoisier y Laplace, se ha copiado del tratado de Física de Biot que asegura haberla conseguido exacta y original, por la viuda de Lavoisier, y que habiendola confrontado con las observaciones que se encuentran detalladas en dichos manuscritos, deben tenerse por exactas. Yo las ofrezco, dice, en el dia de hoy á los fisicos debiendola á la bondad de una persona tan digna por sus luces de haber sido la compañera de un hobre de génio.

S' Gravesande hizo construir un anillo de cobre por cuyo hueco pasaba facilmente un globo del mismo metal; pero habiendo calentado este globo apenas pudo entrar por el anillo y se sostenia en él perfectamente en cualquiera situacion que se pusiese. El mismo autor observa que una lámina de hierro de estension de cerca de tres pies, y de cuatro lineas de grueso, calentándola se estendió notablemente, por que no ajustaba á la medida que antes tenia.*

El cristal se enrarece segun lo prueba el siguiente esperimento. Un tubo de cristal de pequeño diámetro que termine en un globo, se llena hasta cierta altura de un líquido colorado, marcando exactamente

* S'Gravesande, Elm. Phys. tóm. 1, pág. 14.

en el tubo el lugar á donde llega el líquido. Se introduce este tubo en agua hirviendo, y se observa que el líquido primeramente baja de la altura que tenia y luego se suspende mucho mas. Estendiéndose el cristal suspende la marca, y aumenta tambien la capacidad del globo, y el líquido desciende para ocuparla y de aqui resulta que necesariamente baja del tubo. Algunos creen que el líquido queda inmovil y solo se estiende el cristal, suspendiendo la marca. Mas yo opino que el efecto debe atribuírsele no solo á esta causa sino al verdadero descenso que proviene como he dicho del aumento de capacidad del globo. Despues llegando el calor al mismo líquido, se dilata y sube excesivamente que es el efecto observado. Debe advertirse que este esperimento sale mucho mejor, cuando dentro del globo se echa agua teñida y no espíritu de vino, ni otra substancia semejante que se dilata prontamente al menor grado de calor, y no da tiempo á que dilatandose el cristal, se note el descenso aparente del líquido; pero el agua sufre algunos grados de calor antes de dilatarse notablemente y así tarda en subir algun tiempo, aunque muy corto, pero que basta para hacer sensible el esperimento.

En cuanto á la dilatacion de los líquidos es preciso advertir que no es proporcional á la densidad ni á la viscosidad, ni á alguna otra de las propiedades conocidas y parece que depende enteramente, de cierta afinidad mayor ó menor que tiene cada líquido para recibir el calórico. Las esperiencias en esta materia se hacen de un modo muy sencillo. Llénese de distintos líquidos los globos en que terminan los tubos de cristal *a*, *b*, *c*, (lám. 3, fig. 2,) y coloquense en la caja *dr*, *mn*, de modo que permanezcan verticalmente, sosteniendolos por medio de una tablita *dr*, que atraviesan. Si despues se echa agua

calor
pero
rá la
r cual
pue-
d co-
ó sea
se, ó
paci-
dila-
tir el
líqui-
ndo-
en el
ario.
agua
mis-
ria á

isch-
hasta
o de
estos
nian
s de
odia
iem-
duar
no.*
cion
ó es-
s in-
o de

en el
trod
que
tenia
dose
bien
para
baja
inm
mar
sele
que
cida
mo
efec
mer
se e
sub
mer
tan
líqu
ant
alg
pa
so
á l
co
cie
pa
m
se
lo
q
v
bl

DENOMINACION DE LAS
Vidrio de Saint-Gobain . . . . .
Tubo de vidrio sin plomo . . . .
Tubo de vidrio sin plomo . . . .
Otro tubo de vidrio sin plomo. . .
Flint-glass, ingles. . . . .
Vidrio de Francia con plomo. . .
Cobre. . . . .
Cobre. . . . .
Cobre amarillo ó laton. . . . . .
Cobre amarillo ó laton. . . . . .
Hierro dulce forjado, ...
Alambre de hierro. . . . .
Acero sin temple. . . . .
Acero con temple. . . . .
Acero templado amarillo recocido has
Acero templado amarillo recocido á
Acero templado amarillo recocido á 6
Plomo. . . . .
Estaño de las Indias ó de Melac. .
Estaño de Falmouth. . . . . . .
Plata de copela. . . . .
Plate llamada de París. . . . .
Oro puro. . . . .
Oro llamado de París, sin recocer.
Oro llamado de París, recocido. .
Platina (segun Borda) . . . .

niendo en dicha caja para comunicar un calor igual á todos los globos subirán los líquidos, pero no á una misma altura, y esta diferencia indicará la de su dilatacion dado un mismo grado de calor cual el del agua hirviendo. Como estos globos pueden no ser exactamente iguales asi en capacidad como en el grueso del cristal, resultando que ó sea mayor la porcion del líquido que ha de dilatarse, ó que dilatandóse el mismo globo, aumente la capacidad y esto impida que se haga notable toda la dilatacion del líquido que contiene: conviene repetir el esperimento poniendo sucesivamente distintos líquidos en un mismo tubo, ó por lo menos cambiandolos; quiero decir poniendo por ejemplo agua en el que antes contenia espíritu de vino y al contrario. Es preciso tambien cuidar mucho de que el agua que se introduce en la caja, vaya siempre á una misma temperatura pues lo contrario nos conduciria á equivocaciones muy notables.

De los esperimentos que acaba practicar de Chrischton resulta que desde la temperatura de 32° hasta 212° la dilatacion del mercurio es de $\frac{1}{53,3}$ y no de $\frac{1}{55,5}$ como habia establecido Lavoisier. Para estos esperimentos se valió de recipientes que contenian una cantidad de mercurio de 200 á 500 granos de peso y terminaban en tubos tan estrechos que podia notarse el aumento de $\frac{1}{20}$ de grano y al mismo tiempo usaba de una balanza tan exacta para graduar esta corta cantidad que se movia con $\frac{1}{1000}$ de grano.*

Para concluir esta doctrina haremos distincion entre el cuerpo *denso* y *compreso*, *raro* y *tenso ó estirado*, pues el denso y raro provienen de causas internas, á saber: del frio el primero, y el segundo de

* Annals of Philosophy, Ap. 1824.

calor: el compreso y estirado, de causas esternas, como la mano que oprime la esponja y estiende poniendo tirante un cuero.

LECCION IV.

De la pesantez y peso de los cuerpos.

Vemos que todos los cuerpos caen sobre la tierra, sino hay quien los sostenga, y está propiedad le llamamos pesantez ó gravedad, que conviene á todas las partículas que tiene un cuerpo, y por consiguiente admite aumento y disminucion, mas la pesantez consiste en la tendencia de las partículas hácia el centro de la tierra, y siendo ésta una misma en todas se infiere que es uniforme la pesantez. De suerte que un globo de plomo y una pluma tienen una misma pesantez: sin embargo del diverso peso, pues cada partícula de la pluma se dirige á la tierra lo mismo que las partículas del plomo.

En la máquina neumática* estraído el aire, se hace caer de una misma altura una bala de fusil y una pluma; y se observa que ambos cuerpos llegan á un mismo tiempo. Introduciendo nuevamente el aire, sucede en la máquina el efecto ordinario de caer la bala, mucho mas pronto que la pluma. Este efecto se comprenderá, si advertimos que cada partícula de la pluma, lo mismo que las de plomo, egercen su pesantez libremente en el vacío, y siendo

* La descripcion de esta máquina nos separaria de nuestro objeto. Baste por ahora saber que toda su operacion se reduce á privar de aire un recipiente, en cuanto es posible.

esta igual en ambos cuerpos debe ser igual el descenso.

Un ejemplo de Almeyda nos aclara este fenómeno. Supongamos que hay cien hombres que todos tienen una misma fuerza, y corren igualmente; si separamos uno de ellos á distancia de algunos pasos, para que corra por sí solo; y que todos emprendan su carrera á un mismo tiempo, se vé claramente que teniendo este hombre separado la misma velocidad que cada uno de los reunidos; llegarán todos á un mismo tiempo al término de la carrera. Pero supongamos que diez hombres le salen al encuentro; claro está, que los 99 vencerán facilmente á los 10 continuando libremente su carrera, y el hombre separado no podrá, ó le costará mucho librarse de los que le acometen y llegará muy tarde.

Supongamos ahora que las partículas del plomo son los noventa y nueve hombres; y la pluma el hombre que corría separado; cuando estén en el vacío sin resistencia todas llegan á un tiempo, mas cuando se introducen las partículas del aire, que son los 10 hombres que salen al encuentro, es preciso que el plomo venza facilmente, y la pluma se quede entretenida y como batallando para caer.*

De lo dicho podemos concluir siguiendo á Brisson: primero que la fuerza que hace caer á los cuerpos hácia la tierra es proporcional á la masa; segundo que obra igualmente en todos los cuerpos sea cual fuere su figura, volúmen, &c.; tercero, que todos los cuerpos caerían con igual velocidad, sino fuera por la resistencia que el aire les opone, la cual es mas sensible en los cuerpos que tienen mas volúmen y menos masa, y por consiguiente que la resistencia del aire es la única causa por que ciertos cu-

* Almeyda, tom. 1, pág. 86.

erpos caen mas pronto que otros segun lo habia asegurado Galileo.

Que sea cual fuere la mutacion que acontece á un cuerpo con respecto á su forma, su peso en el vacio, queda siempre el mismo si la masa no se ha mudado.*

Observemos siguiendo á Chabaneau,† que no se ha de atender á los efectos que produce el choque de un cuerpo cuando desciende en el vacio, para determinar su fuerza y la velocidad del descenso, siendo así que una libra de agua, y otra de plomo caen en un mismo tiempo y tienen la misma fuerza, sin embargo de que la de plomo pueda romper con su choque un cuerpo frágil que introduce en la máquina, y la de agua no.

La razon es, que la coherencia de las partículas del plomo, las hace reunir su esfuerzo en un solo punto, y las del agua por su desunion gravitan separadamente. Por tanto segun que el cuerpo sea mas sólido, causará mayor efecto su choque en el vacio; pero esto no prueba que desciende con mayor velocidad, ni que tiene mas fuerza que otro cuerpo de diverso volúmen, que tenga igual numero de partículas.

Se creyó antiguamente que la pesantez no era propiedad universal de la materia, y que habia cuerpos absolutamente leves como el aire y el fuego.

Boerhaave‡ insigne médico, admitía el error antiguo, creyendo que el fuego era leve; opinion, mejor dicho, delirio que esta totalmente destruido. Para demostrar que la pesantez conviene á todos los cuerpos nos ceñiremos á probarla en el aire, humo, vapores y fuego, de los cuales podria tal vez dudarse;

* Brisson, Dic. de Física, tom. 7, pág. 312.
† Elem. de Cienc. Natural, tom. 1, pág. 24.
‡ Elem. Chim. tom. 1, pág. 68.

por que en los otros cuerpos mas crasos, todo el mundo conoce la pesantez.

El aire es pesado. En la máquina neumática se pone un cilindro de bronce cubierto con un cuero de búfalo firmemente atado; se empieza á estraer el aire de la máquina, y el aire esterior oprime tanto el pellejo, que lo sumerge, y revienta, prueba de la gravedad del aire. Torricelli usó de un tubo cerrado herméticamente por una de sus estremidades, y abierto por la otra llenándolo perfectamente de agua, en términos que no pudiéra contener aire notable, y volteándolo de repente, lo introdujo tres ó cuatro dedos en una vasija llena del mismo liquido, para impedir que el aire esterior entrase en el túbo. Destapando la boca de éste empezó á caer el agua, pero al llegar á 33 pies de altura, no bajó ni una línea mas, observándose esto repetidas veces. El azogue quedaba elevado á las 27 ó 28 pulgadas,* y hecho el esperimento con líquidos de diverso peso, se advirtío que era proporcional la columna suspendida al peso respectivo de dichos líquidos, siendo la altura de la columna elevada dentro del tubo en razon inversa del peso del líquido, con que se hacia el esperimento. Prueba de que el aire se equilibra con los fluidos, y que tanto pesa una columna de aire que tenga todo el alto de la atmósfera, como de 32 pies de agua, de 28 pulgadas de azogue, &c.

Se quiso decir que la suspension de los líquidos proviene del *horror al vacío* que tiene la naturaleza, y que por tanto conserva los líquidos suspendidos, para que no quede todo el tubo sin cuerpo alguno. La misma variedad en la altura de las columnas, destruye, semejante respuesta, pues cuando sube hasta *r*, (Lám. 1, fig. 4,) v. g. hay menor porcion

* Los mas de los autores ponen 26.

del tubo vacio, que cuando actualmente llega á e, y el horror de la naturaleza deberia ser constante y no permitir que el mercurio, por ejemplo, se quedase tan bajo. Algunos apasionados al sistéma antiguo discurrieron una solucion á esta instancia, diciendo que los líquidos tienen diversa evaporacion, y despiden diverso número de partículas, de modo, que si los eflúvios despedidos bastan para llenar dos pies del tubo, y éste tiene 34, subirá el líquido hasta los 32; si pudiere llenar con sus eflúvios 4 pies, subirá, hasta los 30, y así de los demas, conciliándose la esperiencia con el horror al vacio; mas dicha repuesta no satisface, cuando vemos que el espíritu de vino y otras sustancias espirituosas que sin duda evaporan mas que el agua, suben menos que ella. La misma agua cuando está caliente evapora mas que cuando fria, y segun pretenden los contrarios, debia bajar, pues que tiene mayor número de eflúvios, con que llenar el tubo; pero la esperencia nos testifica que sucede al revez, por que el agua lejos de bajar sube. Por tanto el horror al vacio, es propio de las tinieblas en que estaba la fisica antigua.

El célebre Paschal fatigado de las impertinencias de los defensores de el horror al vacio, concluyó la disputa con las decisivas observaciones que vamos á referir. Este profesor reflecciono que si el mercurio se equilibraba en el tubo con la columna de aire igual á la altura de la atmósfera, segun que se minorára ésta, debia bajar el mercurio, y que si la esperencia confirmaba el raciocínio, estaba el punto decidido. Efectivamente suplicó á Pierrer su cuñado, que vivia en Aubergne, hiciese los esperimentos en la altura del *Pozo-de-Dome*, y se encontró que en el jardin de los Mínimos que es el parage mas bajo de la ciudad, el mercurio subió á 26 pulgadas 3 líneas y $\frac{1}{2}$, y sobre la altura de *Dome* que esta quinientas

toésas sobre el jardin de los Minimos, subió el mercurio á 22 pulgadas y 2 líneas.* Repitió Paschal en Paris los mismos esperimentos sobre la altura de diversas torres, y otros parajes elevados, y siempre observó que la columna de mercurio estaba en razon inversa de la altura del edificio donde se hacia el esperimento. Vieron por tanto los físicos antiguos que Paschal jugaba con el pretendido horror al vacío.

Como la preocupacion puede mucho, inventó Wallis un esperimento para probar que la suspension del mercurio no procede del peso del aire. Pongase en una balanza el tubo de Torricelli con su vasija, y el mercurio suspendido á la altura de 28 pulgadas.* Despues colóquese el tubo con la boca hácia arriba y con las mismas 28 pulgadas de mercurio, de modo que graviten en el fondo del tubo, que es la parte cerrada herméticamente; se observa que lo mismo pesa en un caso que en otro, mas en el primero tenia comunicacion el mercurio de la columna con el de la taza, y en el segundo no; luego es claro que siendo el mismo peso en ambos casos, la columna de mercurio no gravita sobre el restante contenido en la taza, y de la suspension de el mercurio no se infiere el peso del aire.

Esta duda es infundada, pues en uno y otro caso el peso debe ser uno mismo. Primeramente se componia del aparato, el azogue y la columna de aire que gravitaba, no solo sobre la superficie de este líquido, sino tambien sobre la parte superior del tubo herméticamente cerrada, y así era lo mismo que si gravitara en el toda la superficie del azogue incluso el espacio que ocupaba el tubo. En el segundo caso

* Se habla de pulgadas francesas.

tenemos la misma cantidad de azogue: el mismo aparato y la misma columna de aire, que en vez de gravitar sobre la parte cerrada del tubo, gravita sobre el azogue que ahora contiene: luego debió ser uno mismo el peso, y este esperimento no prueba cosa alguna contra la gravedad del aire.

Para probar que el aire gravita sobre el tubo, hizo Siguad el esperimento con uno abierto por ambas partes, cerrando una de ellas con un pergamino bien atado. Lo lleno de mercurio, y volviéndolo en su taza correspondiente; observó que el mercurio bajaba hasta quedar en la altura de 28 pulgadas, y el pergamino quedó hundido formando una concavidad á manera de boveda; prueba evidente de la fuerza esterior del aire que le oprimia.

Se objeciona asimismo con un esperimento hecho en la Académia de Londres, de que fueron testigos Wallis, Huigens y otros físicos de merito. En la máquina neumática se vió que se mantenia el mercurio á 75 pulgadas de altura, sin embargo de hallarse purificado de aire y ser mas pesado; luego la suspension no proviene del peso del aire que no habia en la máquina.

Este argumento se disuelve facilmente si consideramos que el tubo con que se hizo el esperimento, se sabe que era de muy poco diámetro, y teniendo toda la materia una atraccion en razon directa de la masa, é inversa del cuadrado de la distancia, segun probarémos despues, debió haber una atraccion muy fuerte que mantuviera suspendido el azogue, por ser muy corta la estension de el diámetro y mucha la masa del mercurio purificado, y del vidrio, cooperando á esto la insensible escabrosidad del vidrio que servia como de cuñas para sostener el azogue. De esto provino que luego que se sacudío el tubo dan-

dole algunos golpes cayó el azogue* como lo testifican los que lo vieron; y la razon es, por que el sacudimiento venció la fuerza atractiva. Esplicarémos esto con mas estension, cuando se trate de los tubos capilares.

Seguy no se acomodará á esta respuesta; por que dice que la atraccion del vidrio á las partículas del azogue es mucho menor que las de estas entre si; debiendo ser segun su juicio, tres veces menor.† Me parece que se engaña; pues en proporcion que crece la densidad del mercurio, se aumenta su adherencia al vidrio, ó debe advertirse que la mayor atraccion que tienen las partículas entre sí, lejos de perjudicar favorece para conservarlas suspendidas, por que ellas mismas se enlazan.

Supongamos que tres partículas de mercurio ocuparen el punto a, (lam. 1. fig. s.) exactamente el diámetro del tubo, mientras mayor sea la adherencia de la del medio con la de los costados y de estas con el tubo, se podrán sostener mejor suspendidas; pues si la del medio tuviera poca adherencia, se caería fácilmente.

Efectos producidos por la supresion del peso del aire; que comprueban mas su existencia.

Para tratar de estos efectos es indispensable dar una lijera descripcion de la máquina neumática. Esta máquina se compone de dos bombas, *d*, *b*, (lam. 3ª fig. 3ª) cuyos embolos se repesentan con lineas de puntos; los astiles de estos embolos son dos sierras endentadas en la rueda *m*, quo está dentro de la pieza *t*, *h*, la cual se divide en dos para desarmar la

* Lemonier tóm. 5. pág. 62.
† Seguy Filos. tóm. 4. pag. 397.

máquina y cuando está armada se sostienen reunidas ambas por unos tornillos cuyas cabezas se representan en *r*, *s*, y tiene otros varios que no se indican, por no confundir la figura. El manubrio *a*, está unido a el eje de la rueda *m*, por cuyo medio se hacen bajar y subir alternativamente ambos embolos; pues a simple vista se percibe, que el movimiento de la rueda que hace bajar el embolo en la bomba, *d*, hace subir el de la bomba *b* y al contrario. Hay dos perillas de bronce *e n* que entran a tornillo en los estremos de los pilares laterales y sirven para ajustar a ellos la pieza *t h* asegurando toda la máquina. Las bombas entran a tornillo en una pieza de bronce *g l* y del centro de cada una de ellas hay un conducto que se comunica con el platillo *p* donde se coloca el recipiente de cristal en que se quiere formar el vacio, para cuyo objeto está muy bien bruñido este plato en términos que ajuste bien con la boca del recipiente, y aun suele ponersele una piel impregnada de aceite que favorece este contacto. Del mismo platillo va otro conducto hácia el otro mas pequeño *q* donde se coloca el barómetro que ha de indicar los grados de vacio. Dicho barómetro se representa en *x*, y consiste en un tubo encorbado y lleno de azogue. Luego que se estrae el aire del brazo inferior baja el azogue del superior hasta llegar a niverlarse con el del brazo intermedio si es que se logra formar un perfecto vacio. Este tubo está unido á una pieza de bronce que entra á tornillo en el agujero del platillo *q*.

En los embolos y en el conducto que se halla al fondo de las bombas hay unas válvulas que se abren y cierran de un modo opuesto, quiero decir que estan abiertas las de los embolos cuando las inferiores se cierran y al contrario. Estas válvulas no son otra cosa que unas tiras de tafetan gamado o de piel de

anguilla que cubren los conductos, y que por la misma presion del aire se abren ó se cierran; pues cuando este sale del recipiente para las bombas cierra por su choque las valvulas de los embolos. Lo contrario sucede cuando oprimiendo dichos embolos se quiere hacer entrar el aire al recipíente, pues entonces se cierran ú oprimen las valvulas inferiores y no permiten la entrada.

Esperimento 1°. Si colocamos bajo el recipiente el aparato *n* lam. 3, fig. 4, que consiste en una caja de madera dentro de la cual hay una vegiga bien atada y que contiene una corta cantidad de aire; se verá que estraido el del recipiente se dilata aquella, suspende la tapa de la caja a pesar de las ruedas de plomo *ss*, que se ensartan en el hastil que sale sobre el centro de la tapa. Introducido el aire, vuelve a cerrarse la caja y a quedar la vegiga en su estado anterior; *h*, es un tubo de bronce unido a una lámina del mismo metal, la cual ajusta bien á la boca del recipiente, y por dentro del tubo, pasa el hastil *n*, pudiendo de este modo elevarse con los pesos de plomo que estan sobre la tapa y se impide que caigan sobre el recipiente. El esperimento se presenta en *f*, donde se ve elevada la tapa de la caja que contiene la vegiga. Se infiere pues que el peso del aire que gravitaba sobre dicha tapa era mucho mayor que el de las ruedas de plomo que se colocan sobre ella.

Esperimento 2°. La botella *b*, lam. 3, fig. 5, está formada de una plancha de cobre muy sutil, y en su boca tiene un tornillo que adapta á la máquina neumática, y una válvula que permite la estraccion del aire pero no su introduccion. Esta botella cuando está llena de aire se equilibra perfectamente con el contrapeso *n*; mas si estraemos el aire por medio de la maquina y volvemos á colocar la botella en la balanza, esta no conservará el equilibrio, y el número de gra-

nos que sean menester agregar al peso de la botella para restituir dicho equilibrio indicará el peso del aire que contenia la botella.

Esperimento 3º *ab*, lam. 3, son dos hemisferios de bronce fig. 6. que ajustan perfectamente, y que se adaptan por la llave *h* á la máquina neumática para estraerles el aire. En este caso las columnas esteriores oprimen de tal modo los hemisferios que se necesita una gran fuerza para separarlos y pueden sostener un gran peso en la parte inferior sin disunirse. La fuerza necesaria para esta separacion es proporcional al vacio que logre formarse, y al diámetro de dichos hemisferios; pues se supone que la fuerza comprimente es igual á una columna de mercurio que tuviese por base un circulo maximo de esta esfera y por altura 28 pulgadas, ó la que indique el barómetro al tiempo de hacerse el esperimento. Resisten pues su separacion estos hemisferios como si hubiesen dos columnas de mercurio una inferior y otra superior que los oprimieran con la fuerza de su peso.

Esperimento 4º. En el recipiente *a*, lam. 3, fig. 7, se echa una corta cantidad de azogue y se ajusta á su boca el tubo *n*, por medio del tornillo *s*, quedando el estremo *b*, de dicho tubo introducido en el azogue. Despues se coloca este recipiente bajo de otro mayor *r f*, y se cubre el tubo *n*, con otro mas ancho *t*, cerrado herméticamente en *h*, y que tiene en la parte inferior una lámina de cobre que ajusta á la boca del recipiente *r f*, quedando todo el aparato como lo presenta la figura. Estraido el aire del recipiente mayor se estrae el del tubo *n*, y en este caso el aire contenido en la parte *e* del recipiente, menor oprime el azogue y le hace subir por el tubo *n*, hasta la altura de 28 pulgadas si se ha formado buen vacio. En lugar de este recipiente pequeño podemos poner el aparato *q*, que no es mas que un tubo de Torricelli

donde está elevado el mercurio que desciende luego que se estrae el aire del recipiente mayor. Este esperimento demuestra hasta la evidencia que los efectos del barómetro se deben al peso del aire pues en el primer caso sustraido el peso de la columna central esto es del aire contenido en el tubo *n*, bastó la fuerza del aire en *e*, para elevar el mércurio y es prueba de que esta fuerza estaba contrarrestada por el peso del aire como se ve claramente introduciendo de nuevo el aire en la máquina: en el segundo caso aun es mas claro el efecto, pues asciende ó baja el mercurio segun que se estrae ó se introduce el aire.

Esperimento 5º—La bomba *dn*, lám. 3, fig. 8, es de cristal en la parte inferior y de bronce en la superior. En esta parte está el embolo que no produce efecto alguno cuando se forma el vacio en el recipiente *r s*, y suspende facilmente el agua del vaso *a*, cuando se introduce el aire en dicho recipiente. Se deduce pues que todos los efectos de las bombas se deben á la presion del aire sobre la superficie del agua y al vacio en el cuerpo de la bomba.

Los vapores son pesados. Si se pone en uno de los platillos de la balanza una basija con agua ú otro licor evaporable, y se equilibra poniéndole un peso correspondiente en el platillo opuesto, y se deja por algun tiempo, se verá que la balanza empieza á temblar y pierde el equilíbrio, bajando el peso y subiéndo la parte que contiene el agua. Esto prueba que el agua ha perdido algun peso; es así que solo ha perdido los vapores: luego los vapores son pesados. Este esperimento es mas sensible con espíritu de vino.

El húmo es pesado. En la máquina neumática se coloca una vela grande encendida. Se cubre con

un recipiente largo y estrecho.* Se le dá á la bomba, y á los dos ó tres golpes de embolo la luz se apagará, precipitandose el humo en lugar de elevarse, luego el humo es pesado.

El fuego es grave. Consta por los esperimentos de Muschembroek, siguiendo é Duclos, Boile y Homberg, que diversas sustancias calcinadas adquirieron mayor peso, comprobado con balanzas exactísimas, y aunque se quiso responder que el mayor peso provenia de las partículas estrañas que iban con el fuego, se desvaneció esta respuesta, haciendo los esperimentos con los rayos del sol recogidos en un espejo ustorio, incluyendo las sustancias en cajas de cristal bien cerradas, para evitar la comunicacion con sustancias estrañas.

Piquer opina que estos esperimentos no prueban el peso del fuego, pues las calcinaciones se hacian en vasos abiertos y con materias metálicas que podian corroerlos y aumentar con estas mismas partículas el peso; y ademas el contacto de la atmósfera, mientras que se llevaban estas sustancias á la balanza para pesarlas, debia comunicar mucha humedad que aumentase el peso, mayormente cuando sabemos la aptitud que tienen las sustancias calcinadas para recibir las partículas húmedas. Por lo que hace á las esperiencias hechas en vasos cerrados dice: que fueron pocas y en ellas se advirtió muy poco aumento de peso, y que siendo preciso romper el vidrio para examinar este aumento, puede sospecharse que es producido por el nuevo contacto del aire.

Efectivamente son juiciosas las observaciones de este autor, y sin duda el peso que adquieren las sustancias al aire libre no prueba como él mismo ad-

* Description et usage d'un Cabinet de Physique, tom. 1, planche 8, page 4.

vierte, sino un hecho constante en física, y es que ciertos cuerpos opuestos al fuego aumentan su peso; mas por lo que hace á las calcinaciones practicadas en vasos cerrados, es absolutamente preciso romper el vidrio para examinar el peso añadido, y por tanto dichos esperimentos prueban de algun modo la pesantez del fuego. He dicho de algun modo por que juzgo que ellos solos no bastan para probarla.

Marat* inventó un método de probar el peso del fuego, que consiste en un globo de metal lleno de estuco, que es una sustancia que deja pasar muy poco el calor: en el centro de este globo hizo un hueco en el estuco del tamaño del cuerpo encendido que queria pesar. Introdujo este globo en otra caja de bronce, que impidiera mucho mas la salida del aire y aun la del calor. Hecho esto metió dentro del estuco un globo de plata calentado hasta enrojecerse, y encontró que tenia $5\frac{1}{2}$ granos de mas peso antes de enfriarse, que despues de frio, repitiendo la observacion cuatro veces.

La observacion se hizo de este modo. Sabía Marat por repetidas tentativas, que el calor no pasaba desde el cuerpo encendido al traves del estuco, y toda la máquina estando esta bien cerrada, sino despues de siete minutos, en cuyo tiempo tenia lugar de pesar el cuerpo calentado como si estuviese frio, supuesto que de la máquina aun no habia salido ningun calor, ni otra sustancia. Luego que esperimentaba el calor fuera de la máquina empezaba á disminuirse el peso, y cuando llegaba á la temperatura de la atmósfera (que procuró fuera una misma en todo el tiempo del esperimento) halló que habia perdido los $5\frac{1}{2}$ granos de peso: mas en toda esta operacion es claro, que del aparato solamente salió

* Vease á Chabaneau, pág. 147.

fuego que contenia; luego la diferencia de peso proviene del fuego.

No puede decirse que salió alguna porcion de aire, ó de otra sustancia convertida en efluvios por la fuerza del calor; pues sabemos que estos no pueden pasar dos láminas de metal como son las del globo; y su caja. Tampoco se dirá que de el metal de esta caja, se desprendieron con la fuerza del calor algunos corpúsculos que estaban en sus poros; pues sabemos que esto no produce alteracion sensible, supuesto que el mismo Boerhaave que lleva la opinion contraria, dice, que un globo hecho ácusa pesa lo mismo que uno frio, y que si los corpúsculos evaporados hubieran sido tantos y tales, que produjesen alteracion de peso, el esperimento no se hubiera repetido cuatro veces, como asegura Marat, teniendo el mismo peso siempre que se enfriaba mucho mas cuando contenia el fuego; porque si los corpúsculos que se quieren suponer estraidos del metal, producen alteracion sensible, á la cuarta vez que se hizo el esperimento, que es decir á la cuarta evaporacion ya hubiera sido muy notable la falta de peso, y el esperimento no tuviera un resultado constante.

Algunos dan por prueba de la pesantez del fuego que una luz colocada en la máquina neumatica cuando se estrae el aire pierde la figura piramidal, y se precipita hácia el platillo, segun dice Para de Fanjas; pero confieso que habiendo hecho este esperimento repitidas veces, nunca me ha parecido que produce dicho efecto, pues aunque se minore la llama y quede menos piramidal por el pavilo que interpone en su cuspide nunca desciende, y su figura resulta de la menor cantidad, de aire que la comprime. La llama solo descenderia cuando fuera mas pesada que el arie contenido en el recipiente; y este caso nunca

llega; pues la llama se estingue á una corta diminucion del aire en términos de pesar menos que la llama.

Con una balanza tan exacta, que cargada con cuatro ó cinco onzas en cada platillo, se movia con solo añadirle $\frac{1}{600}$ de un grano, pesó Jorge Fordyce una cantidad determinada de agua, en una caja de cristal cerrada, y peseba menos congelada que liquida, siendo así que en la congelacion se disminuye el calorico, de donde parece que se infiere, que no tiene peso alguno y que al contrario la disminuye. Observemos que en estos esperimentos hay lugar a muchas equivocaciones pues en la congelacion del agua contenida en las cajas de cristal, pudieron quedar pegadas á la superficie esterior de dichas cajas, muchas partículas de la atmosfera tambien congeladas, y estas aumentarían el peso que debia disminuirse, cuando para restituir el agua á su antiguo estado de liquidez, fué preciso una cantidad de calórico que debió disipar dichas partícula, y siendo ellas mas pesadas que la nueva cantidad de calórico introducido, no es mucho que se notaran tales diferencias. Luego prescindiendo de estos efectos que pudieron tener los esperimentos de Fordyce, nunca probarán que el calórico no tiene peso. Reflexionemos asimismo, que aunque el calórico fuera leve, nunca debia disminuir el peso del agua, supuesto que quedaba la misma cantidad de ella, dentro de las cajas, y un mismo número de particulas egercen la misma gravedad en el fondo de un vaso ya se pongan separadas, que es lo que hace el calórico ya se reunan como sucede en la congelacion. Supongámos que se echan en un vaso tres ó cuatro balas de fusil y pesamos este vaso con las balas reunidas y despues las separamos interponiendo otra sustancia; aunque ésta no tenga peso, siempre el vaso con las balas producira los mismos efectos en una balanza; mientras no se quita alguna de

ellas no se minora el peso; luego en los esperimentos citados, aunque el calórico fuera enteramente leve, no debió disminuir el peso de las cajas cuando el agua estaba liquida, luego dicha diminucion debe atribuirse á otra causa, y no me parece improbable la que yo he asignado.

Chabaneáu propone un esperimento que podría hacerse para graduar el peso del calórico; no hay mas que poner en dos globos de vidrio, en el uno cal viva, y en el otro agua, soldarlos haciéndoles comunicacion por unos tubos ó cuellos: pesarlos despues exactamente y hacer pasar luego el agua al globo en que está la cal, en cuyo caso se hará un gran desprendimíento del calórico, y no podrá escaparse otra sustancia, y si el peso se diminuye, queda probado que el calórico lo constituia de algun modo.

Pero supongamos que no hubiera esperiencia alguna con que probar el peso del fuego; ¿se inferiria que no lo tenia? Yo creo lo contrario: pues solo se infiere que es tan corto que no bastan los instrumentos inventados para medirlo. El es un cuerpo, y no hay una razon para negarle una propiedad que tienen los otros, á ménos que no se presente una esperiencia que lo convenza; ¿y que esperiencia puede haber que pruebe la absoluta levedad del fuego? Nos dicen que la llama sube; pero todos saben que esto lo causa el peso del aire y no una levedad del fuego, segun creían los antíguos peripateticos, lo que esplicaremos en otro lugar.

El docto Boerhaave creyó que el fuego tenia una propiédad que consiste, en que sus partículas dilatándose ó moviendose se dirigen igualmente á todos lados, y por consiguiente no estan determinadas á un punto mas bien que á otro. "Esto, continua, pa-
"rece estraño, lo confieso, y apenas es comprehen-
"sible, y la misma idéa que nos pódemos formar de

"esta propiedad se diferencia poco de la del reposo." (Elem. de Chim. tóm. 1º pág. 222.)

No hay duda que es estraño su pensamiento, segun él mismo sospechaba, y mucho mas cuando las razones en que se funda, que pueden verse en la página anterior y siguientes al lugar citado, son tan débiles que no merecen la atencion de un físico como Boerhaave.

" Para conocer mejor mi pensamiento, dice, y al " mismo tiempo para dar una prueba, suspéndase " una bala de plomo con un hilo, sumérjase en agua " hirviendo, y dejese allí hasta que haya adquirido " el mismo grado de calor que el agua. Sáquese en " seguida por medio del hilo, y se verá que exala de " su superficie un calor igual, ó a lo menos en cuanto " pueden juzgar nuestros sentidos, y producirá siem" pre el mismo efecto en un termómetro colocado á " igual distancia en toda suerte de direcciones, y se " convencerá que su calor ó su fuego, se esparce " igualmente al rededor."

De esta observacion infiere Boerhaave, que el fuego no tiene una tendencia particular, y por consiguiente está destituido de pesantez. ¿ Mas quien no advierte que admitida la gravedad del fuego se esplica muy bien el efecto observado? Los fluídos aun los mas graves siempre se ponen en equilibrio como probarémos mas adelante, esto no puede verificarse sino cuando hay iguales porciones en dichos fluidos por todas partes ; de modo que siendo una esfera el cuerpo calentado, y el aire que lo rodea un cuerpo igualmente denso por todas partes, era consecuencia necesaria, que el fuego hubiera llegado á igual distancia, formando por decirlo asi, una nueva esfera concéntrica con la de plomo, semejante á la que forma el aire, al rededor de la tierra. Si la gravedad del fuego se hiciera muy sensible como v.

g. la del agua, tendría mas lugar el argumento aunque nunca podria hacer fuerza, pero siendo tan corta dicha pesantez, ¿ que prueba este ni otro esperimento de Boerhaave ? Sabemos que el calor produce sus efectos segun su mayor porcion ó densidad: ¿ y á caso se pretende que la gravedad del fuego produjera densidad notable por algun lado de la atmosfera del globo en términos de variar el termómetro ? ¡ Buena pretension ! ¿ Los fluídos aun los mas graves no hacen su empuje á todos lados ; y sin embargo nadíe les niega su gravedad ? Pues por que se le niega al fuego ?

Me parece que Boerhaave y los fisicos que le han seguido, faltaron en sus raciocínios á una de las reglas del sábio Newton que dice, *no se deben admítir mas causas que las que sean verdaderas, y basten para esplicar los fenomenos.* Efectivamente consta que el fuego es menos grave que los demas cuerpos, y por tanto tiene una levedad respectiva ; mas esta levedad respectiva es suficiente para esplicar los fenomenos, como los esplican los fisicos mas célebres ; luego no debe admitirse una gravedad absoluta, si no queremos oponernos a la razon.

Es cierto que Boerhaave esperimentó que un paralelipipedo de hierro pesaba tanto hecho ascua como frio ; lo mísmo sucedió con uno de cobre (en el lugar cítado pag. 276.) mas es preciso advertír, que los metales no por que se enrojezcan y demuestren mas el fuego, contienen mayor porcion de él, que los cuerpos calcinados, asi en estos pudo hacerse sensible el aumento de peso, que no lo era en aquellos.

Ademas sabemos por esperiencias hechas por el mismo Boerhaave (ibid. pag. 156.) que el hierro se estiende con el fuego, y enfriado vuelve á su tamaño primitivo ; mas es cierto que aumentandose el volu-

men del cuerpo hecho áscua, y tambien el del platillo de la balanza en fuerza del mismo calor, debe aumentarse la columna de aire que le sostiene, y ser mayor la resistencia, y mayor el peso necesario en la balanza, para quedar en equilíbrio con el otro platillo que no está dilatado. Luego aunque haya mas peso por el fuego introducido, no puede perder el equilíbrio la balanza; restituyendose despues de frios los cuerpos á su primitivo estado. Aunque es cierto que pierden el calor, tambien pierden el volúmen adquírido, segun la observacion del mismo Boerhaave, y recompensándose una cosa con otra, debe permanecer el equilíbrio, ya esté el cuerpo frio, ya caliente.

El abate Nollet responde que aunque el fuego sea mas abundante en el cuerpo calentado, se dirige igualmente á todas partes, poniendose en equilíbrio con tanta mayor facilidad, cuanto mas abiertos están los poros del cuerpo encendido; y que así no carga sobre la balanza. Confirma su doctrina con el ejemplo de una esponja llena de agua é introducida en el mismo fluido, què no aumenta su peso, por que el agua interior está sostenida y equilibrada con la esterior, " ó para valerme dice, de una com-" paracion mas análoga al hecho de que se trata, " imaginemos un globo lleno de un aire semejante " al que le rodea, y con el cual tiene comunicacion: " segun las leyes de Hydrostática establecidas y " probadas en nuestra octava leccion, el brazo de la " balanza no lleva aquí mas peso que el de la pro-" pia materia, del globo menos el peso de la canti-" dad de aire, cuyo lugar ocupa esta materia." Así considerando el cuerpo encendido como un globo de aire, dirémos de la balanza no sufre mas peso que el de la masa del mismo cuerpo, menos de el una porcion de aire igual en volúmen.

Cuando la estension del cuerpo metálico hecho

ascua, no es sensiblemente proporcional al peso y cantidad del fuego introducido, sino que le excede, acontece el admirable efecto, que segun Böerhaave, página 227, observaron algunos físicos, á saber: que un cuerpo encendido pesa menos que frio. Tal es la razon que dá el célebre Muschembroek, esplicando por que cuatro libras de plomo derretido perdieron el peso de cuatro granos, y las mismas de estaño solo perdieron dos granos; pues el peso en una misma cantidad de materia está en razon inversa del aumento del volúmen.

Boerhaave dice: que los físicos no advirtieron que todas las partículas húmedas contenidas en los cordones de la balanza, se evaporaban con la actividad del fuego, y que así convenia usar de cadenas metálicas.

No dudo que la reflexion de Boerhaave respecto de las balanzas de cuerdas está bien fundada; pero creo igualmente que aun tomadas todas las precauciones que él indica, la sola estension que adquieren las cadenas, platillo y cuerpo encendido, basta para presentarnos un equilíbrio sensible, aunque en realidad el peso se aumente ó se disminuya.

Una prueba del peso del fuego nos presenta la atraccion de los rayos del sol. Demostrarémos en su lugar que los cuerpos en razon directa de su densidad atraen á los rayos solares: pero la gravedad es el resultado de la atraccion de la tierra; luego si la tierra en razon de su masa atrae el fuego, este es grave.

Concluiremos, pues con el sábio Nollet, que: la " opinion de los que niegan la gravedad del fuego " está impugnada con los mas fuertes argumentos; " pero no obstante ha agregado á algunos entendimientos metafísicos, hasta hacerles imaginar en " favor del fuego una clase de entes médios entre el " espíritu y el cuérpo una semi-materialidad; por

" que dicen que siendo la gravedad un constitutivo
" de la materia, si el fuego no es grave, no es pura-
" mente material."*

Por lo que hace á la causa de esta gravedad, han sido varias las opiniones de los físicos. Cartésio creyó que una porcion de materia sutíl, movida en remolinos, impelia los cuerpos hácia el centro de la tierra; y su doctrina modificada de diversas maneras, puede decirse que es la de Moliere,† Fontenelle, Reynault, Huygens, Varignon, de quien no se distingue mucho Polignac. Sin embargo la opinion de Varignon es ingeniosa; pues atribuye á solo la desigualdad de las columnas de aire, el descenso de los cuerpos: dice que á distancia de algunas varas de la tierra, es mayor la columna de aire que está sobre el cuerpo, que la que media entre éste y la tierra, como asímismo la de los costados, de modo que el cuerpo se vé en la precision de ir por el camino mas fácil, y como mientras mas se acerca á la tierra es menor la columna de abajo, y mayor la de arriba, debe ser mayor la gravedad. Esta opinion aunque mas llevadera, podia impugnarse con infinitas razones tomadas de la naturaleza de los fluídos, pero basta para destruirla, una sola reflexion que haremos contra ella y la doctrina de Gasendo, que vamos á esponer.

Juzgó este físico que de la tierra salian infinitos corpúsculos, que él nombra *atractivos*, los cuales llaman los cuerpos al centro, siendo mayor la abundancia de dichos corpúsculos segun la mayor proximidad á la tierra.

Se desvanecen estos delirios, luego que nos hacemos cargo de la cuestion. Buscámos la causa de

* Lecc. 18, pág. 146, tom. 4.
† Véase el Dicc. de Fís. de Paulian, art. Gravedad.

una propiedad general de toda la materia; ésta no puede hallarse en ningun cuerpo, como el aire, corpúsculos de Gasendo, y vortices cartesianos; pues entónces preguntarémos cual es la causa de la gravedad del aire, de la materia sutíl, ó de los corpúsculos atractivos; y si se inventa otro fluído, preguntarémos la de este nuevo cuerpo, y así á lo infinito.

Newton y los newtonianos, que no han sabido adivinar, sino observar la naturaleza, han dicho que la gravedad es una ley general de élla, no ménos que la impenetrabilidad y otras muchas que no tienen mas causa que la inmediata voluntad de Dios, que al formar los séres corpóreos quiso imponer estas leyes. Buscar fuera de Dios la causa de un efecto general, esto es, de una ley de la naturaleza, es el mayor delírio en que pudieron dar los filósofos. A su presuncion deben el haber cegado en medio de la luz, tal vez por su misma evidencia. Juzgaron que debian agregar alguna cosa á lo que sabe el vulgo, que si todos dicen que los cuerpos caen, era poco honor de la filosofia no decir por que caen, y de aquí provinieron tantas opiniones, que han hecho ridiculos á sus autores, pues no advirtieron siquiera el estado de la cuestion. Ley de la naturaleza corporea: *es aquella que domina todos los séres corporeos sin exceptuar alguno;* y por consiguiente al filósofo le toca probar que un efecto se verifica en todos los cuerpos, y que es ley de la naturaleza; pero demostrado esto, no debe filosóficamente asignarse otra causa que la voluntad del Criador.

En nuestros dias, el baron de Zach, no contento con la doctrina newtoniana que el cree agena de un filosofo, pues que nada dice sino que existen ciertos efectos; ha procurado dar la causa de la gravedad, renovando hasta cierto punto la doctrina de Gasendo, esto es, la emanacion de corpúsculos atractivos. Cree

este fisico, que de las estrellas y de todos los cuerpos celestes emana una gran cantidad de efluvios, que producen unas verdaderas impulsiones, siendo esta la causa del descenso de los cuerpos. Esta opinion ademas de ser arbitraria creo que aun establecida no esplicaria los fenómenos, pues por mas que quiera sutilizarse en esta materia, siempre era innegable que el efecto producido inmediatamente por la accion de los efluvios que salen de la tierra, debe ser mucho mas fuerte, que el producido por los que provengan de las estrellas, o de otros cuerpos celestes; asi como la luz de estos es mucho mas debil, o menos densa cuando llega a la atmósfera terrestre, que la luz que refleja de la superficie de nuestro globo.

Yo no sé ademas como podrá esplicarse conforme a la doctrina del baron de Zach, el decrecimiento de la gravedad terrestre que (segun veremos en la leccion siguiente) es en razon inversa, del cuadrado de las distancias al centro de la tierra. Supongamos que esta no tiene atraccion alguna, ó lo que es lo mismo, que los cuerpos no tienen ninguna tendencia hácia el centro de nuestro globo, sino que por el contrario salen de este una porcion de efluvios que arrojan por decirlo asi, de la superficie de la tierra los cuerpos que observamos en ella. ¿Como permanecen? ¿Que fuerza oponen a la accion de estos corpúsculos? Si suponemos que elevandose en la atmósfera, quedan sometidos á la accion de los corpusculos que emanan de los cuerpos celestes, y que en virtud de este impulso descienden á la tierra; lejos de aumentarse la gravedad segun se disminuye el cuadrado de las distancias, deberia producirse, un efecto enteramente contrario. Los efluvios que emanasen de los astros disminuiran de densidad segun se aumentase el cuadrado de la distancia a dichos astros, pues, como veremos en adalante, toda fuerza que se difun-

de por rádios decrece en razon del cuadrado de estos; y claro está que la accion impulsiva de dichos efluvios debe ser mucho menor segun mas se aproximen a la tierra, porque distará mas del astro que los produce, y se hallarán contrariados por los que salen de esta. Creo pues que la doctrina del baron de Zach, no esplica de modo alguno los fenómenos, y que sin agregar nada a la newtoniana, tiene inconvenientes de que carece esta. He dicho que sin agregar nada a la newtoniana, porque efectivamente Newton solo pretendió establecer como principio fijo la tendencia de los cuerpos unos hácia otros, prescindiendo de si esta tendencia es el resultado de una impulsion, o de otra causa que por ahora se nos oculta.

Concluyámos pues, que los filósofos que han querido ridiculizar á los newtonianos, por que no asignaban otra causa ni comprobante de la gravedad sino la esperiencia y observacion de los efectos, se han hecho dignos de lastima, si no de un sensato desprecio.

Cuando se considera el peso bajo un volúmen determinado, v. g. una pulgada cúbica, se llama peso específico; y así, comparamos dos porciones iguales de diversos cuerpos, y decimos que tienen un mismo peso específico ó que no lo tienen: cuando se considera el peso sin relacion al volumen se llama peso absoluto, y decimos que una libra de plomo es igual á una libra de lana, ó tiene el mismo peso absoluto; aunque la primera tenga un corto volúmen, y la segunda ocupe mucho espacio. Cuando hablemos de la inmersion de los sólidos en los líquidos, y del equilíbrio de estos, se indicará el método de encontrar el peso específico, y los resultados que se han conseguido con mas exactitud. Tambien suele decirse gravedad específica, sin embargo de que esta

espresíon no es conforme á la idéa que tenemos de la uniformidad en la pesantez de los cuerpos; y así debe evitarse una voz que siempre es contraria á la recta Ideología.

M. Danier ha manifestado que el peso específico en los cuerpos, cuyas partículas forman un octaedro, debe ser mayor que el de aquellos que constan de tetraedros. Una especie de mineral llamado espato-fluor, que es susceptible de recibir estas formas, le servió para confirmar sus conjeturas; pues con una balanza exactísima advirtió que el octaedro tiene un peso específico constante; pues siempre era de 3,07 el del tetraedro 2,909 y finalmente el de un romboide de 2,904. Con el objeto de confirmar estos resultados, le quitó los ángulos sólidos á un cubo de espato-fluor sin color, y los reunió á un octaedro regular y examinando el peso específico de cada uno de estos sólidos, halló 3,018 el del cubo, y 3,242 el de los ángulos cortados, y 3,271 el octaedro, 3,115 uno de los ángulos 3,111 el otro, y 3,125 el tercero. Donde se advierte que el peso específico de estos diferentes sólidos, aunque tomados en pedazos idénticos y de composicion perfectamente homogénea, ha variado segun las leyes determinadas por la teoría.

De estas esperiencias repetidas muchas veces, deduce el autor: 1°. que el peso especifico de un cuerpo varía segun la variacion de su forma esterior: 2°. que las diferentes partes de una sustancia homogenea pueden tener un peso especifico diferente: 3° que el peso especifico de los cristales, puede variar solo por colocar uno sobre otro, lo cual destruye las idéas generalmente admitidas hasta ahora, por la mayor parte de los célebres fisicos, y nos inclina á creer que una misma sustancia puede variar de peso especifico, segun la voluntad del que opere.

LECCION V.

De la atraccion.

La gravedad que todos los filósofos admitian respecto al descenso de los cuerpos sobre la tierra, probó Newton que se verificaba entre todos los cuerpos, unos hácia otros. Esta tendencia universal se llama atraccion, sin que se entienda por esto, que es una virtud intrínseca de la materia, ó uno de aquellos apetitos que soñaron los escolásticos; sino una ley de la naturaleza, efecto immediato de la voluntad del Criador.*

De aqui se infiere claramente que la atraccion es la misma gravedad considerada entre todos los cuerpos, y que si se pone como propiedad distinta, es solo por acomodarnos el órden que han solido guardar los filósofos en estos tratados. De modo que esta leccion podría muy bien considerarse como un aditamento á la anterior.

* En el dia opinan muchos que la atraccion proviene de la electricidad, pues (como veremos cuando se trate esta materia) hay dos clases de electricidades, ó como quieren algunos, dos clases de fluidos electricos que se combinan con mucha rapidez, y producen la aproximacion de los cuerpos de donde salen, ó su repulsion segun las circunstancias. Como aun no hemos tratado sobre la naturaleza de la eléctricidad, seria estemporanea toda esplicacion que se fundase en ella; y por otra parte sea que provengan ó no de la electricidad las atracciones que observamos en el contacto de las particulas, siempre se verifica que todos los cuerpos se atraen: que es lo que intentamos probar.

T

FEILADA, EL CUAL SE
ESP

. . .	8000
. . .	7550
. . .	6710
. . .	5850
. . .	6040
. . .	5500
. . .	4980
. . .	3830
. . .	7930
. . .	6610
. . .	7850
. . .	7150
. . .	6000
. . .	9120
. . .	13270
. . .	6950
. . .	7700
. . .	13330
. . .	13310
. . .	10310
. . .	9130
. . .	5960
. . .	7050
. . .	7263

ES O GASES.

. . .	0,46005
. . .	0,50694
. . .	0,03539
. . .	0,68985
. . .	4,27488

Tom. 2. pag. 78.

iewton,
racción
ps flui-
s sigui-

peque-
nen en-
basten
e unie-
sitaron
rs unió
s hecho
eron 4
de aire
otones
sin em-
de 20
Huy-
na pul-
libras,

as del
alieron
diame-
libras

das de
y de-
ara su

La
pecto a
probó I
pos, un
llama a
una vir
los ape
ley de l
del Cri
De a
la mism
erpos, y
lo por
dar los
esta lec
aditame

* En el
dad, pues
de electrici
cos que se
de los cuer
Como aun
ria estemp
parte sea q
servamos e
dos los cue

Probarémos que la doctrina del inmortal Newton, es hija de la naturaleza; haciendo ver que la atraccion se verifica: 1º entre los sólidos; 2º entre los fluidos: 3º entre los sólidos y fluidos, segun las siguientes proposicions.

PROPOSICION I.

Los sólidos se atraen.

Si á dos balas de plomo se les hacen unos pequeños planos con un cuchillo, y despues se oprimen entre los dedos, se unirán de tal modo que no basten 40 libras para separarlas. Segun Webster se unieron dos globos semejantes, de modo que necesitaron 10 libras para su separacion.* Desaguiliers unió dos globos de una libra cada uno, habiéndoles hecho unos panos de dos líneas y media: y sostuvieron 4 libras, siendo así que el peso de la columna de aire solo era de 6 onzas. Este mismo unió dos botones de cristal cuyo diámetro era de una línea, y sin embargo de estar muy secos, sostuvieron el peso de 20 onzas, siendo la presion del aire igual á una. Huygens unió dos pedazos de marmol negro de una pulgada en cuadro, y sostuviéron el peso de 3 libras, y el del mármol inferior.

En las noticias de la república de las letras del año de 1079, se dice que en Leyden, se pulieron unos cristales de dos pulgadas y cuarto de diametro, y que unidos fué preciso el peso de 590 libras para separarlos.

Unidos unos planos de metal de dos pulgadas de diámetro, untandoles primero grasa hirviendo y dejándolos enfriar, se necesitaron 950 libras para su separacion. Segun dice Webster.†

* Elements of Natural Philosophy.
† Elements of Natural Philosophy.

Muschembroek unió varios cilindros cuyo diámetro era de dos pulgadas untándoles un poco de sebo y comunicándoles un mismo grado de calor.

La siguiente tabla espresa los resultados, suprimiendo el peso del aire que segun Muschembroek, era de 41 libras.

Cilindros.	Adherencia.	Suprimiendo el peso del aire.
De vidrio - - - - - -	130 libras - - - - -	89
De similor - - - - - -	150 - - - - - - -	109
De laton - - - - - -	200 - - - - - - -	159
De plata - - - - - -	125 - - - - - - -	84
De acero templado - -	225 - - - - - - -	184
De hierro dulce - - -	300 - - - - - - -	259
De estaño - - - - - -	100 - - - - - - -	59
De plomo - - - - - -	175 - - - - - - -	134
De zinc - - - - - -	100 - - - - - - -	59
De bismuth - - - - -	130 - - - - - - -	89
De marmol blanco - -	225 - - - - - - -	184
De marmol negro - -	230 - - - - - - -	189
De marfil - - - - - -	108 - - - - - - -	67

Habiendo hecho calentar mucho mas los cilindros, en terminos, que el sebo hervía luego que se tocaba á la superficie de ellos, encontró Muschembroek, que la adherencia era mucho mayor segun el órden siguiente:

Cilindros.	Adherencia.	Suprimiendo el peso del aire.
De vidrio - - - - - -	300 libras - - - - -	259
Laton - - - - - - -	800 - - - - - - -	759
Marmol blanco - - -	600 - - - - - - -	559
Hierro - - - - - - -	950 - - - - - - -	909
Cobre rojo - - - - -	850 - - - - - - -	809
Plata - - - - - - -	250 - - - - - - -	209

Segun advierte Muschembroek, la distinta densidad del fluido interpuesto, ó de la grasa que se unte á los cilindros, influye notablemente en los efectos; mas debe advertirse que algunas circunstancias que concurren en un líquido respecto de las figuras, y otras relaciones, hacen, á veces que siendo ménos denso, una mas, que otro de mayor densidad como espresa la tabla siguiente:

Cilindros de laton unidos con	Sostubieron el peso de
Agua - - - - - - - -	12 lb.
Aceite de varias raices - - - -	18
Trementina veneciana - - - - -	24
La resina compuesta llamada colophonia -	850
Sebo - - - - - - - -	800

Observó igualmente que la pez comun, siendo mas densa que el agua y muy atractiva, unió dos cilindros con fuerza de 1400. En estas esperiencias debe procurarse excluir el aire intermedio.

Una composicion de plomo y estaño une ménos á el cobre que la de laton y estaño, siendo ésta mas leve. El sebo y la pez, aunque exijen mayor grado de calor, unen mas que la colophonia.

Una composicion de mucha plata y poco cobre, une ménos dos láminas de cobre que la mezcla de mucho cobre con poca plata y estaño, aunque ésta requiera mucho fuego.

Muchas veces entre dos cuerpos sólidos, se han puesto masas semi-fluidas; y ha resultado un solo cuerpo perfectamente duro. Así interponiendo la cal con arena y agua ú mezcla vulgar, ó la toba y cal disueltas con agua, vémos que se unen dos piedras ó ladrillos fuertemente. Lo mismo dirémos de la cola que une dos maderos.

La razon es, por que en la cal, la arena, y lo mismo en la toba hay várias sales que chocando mutuamente hacen disolver las partes, y que penetran mucho mejor los poros de los cuerpos unidos. Si la cola fuere mas densa que los cuerpos que se pegan; resultarán mas firmes pór la pegadura, que por otra cualquiera parte de ellos; pues que será mayor el contacto resultando dos planos mucho mas sólidos en la union, que si se cortara él cuerpo por otro lugar.*

Dos agujas flotando en el agua sobre unos corchos cuando estan á corta distancia, se atraen segun las observaciones de Moreau.* Esto mismo observó Mazarredo en los navíos de una escuadra en tiempe de calma.

Cavendisch, esperimentó que una aguja suspendida horizontalmente por un hilo metálico muy delgado, acercaba su punta á una masa de plomo, puesta á corta distancia, torciendo para esto el hilo y formando un ángulo con la primera situacion de la aguja; lo cual parece que prueba, que existe una fuerza en el plomo para atraerla. Como esta ajuga ó varita horizontal venia con mucha rapidez hácia la masa de plomo, formaba mayor ángulo, produciendo mayor torcion de la que podia causar la fuerza atractiva, y por esta causa destorciéndose el hilo hacía retroceder la aguja que estaba en contínuo movimiento, separándose y acercándose á la masa del plomo. Por la velocidad de estos movimientos y el diverso ángulo, puede deducirse la relacion de la fuerza atractiva de cada cuerpo con la tierra, y por consiguiente la de la masa del globo terrestre á la masa del cuerpo con que se haga la esperiencia. Se puede determinar la densidad de un cuerpo en esta

* Véase á Muschembroek, tóm. 1, pág. 248.

esperiencia, conocido su volúmen pues por la fuerza atractiva, se deduce de la masa, y ésta dividida por el volúmen dá la densidad. Los físicos conocen aproximadamente el volúmen de la tierra; y de aquí se infiere que puede conocerse la densidad media del globo terrestre, comparando su fuerza atractiva en estos esperimentos, que es la misma gravedad de la aguja, con la que tiene un cuerpo de un volúmen y densidad conocidos, puesto á una distancia determinada. Cavendisch, poniendo por unidad el peso del agua, halló que la densidad media de la tierra era de *5, 5.*

Segun las observaciones de D. Jorge Juan y D. Antonio Ulloa, en consorcio de los académicos franceses, una plomada en el monte Chimboraso en el Perú, cerca del Equador, se desviaba de la perpendicular, formando con ella un ángulo de 7 á 8″.

Lo mismo probó Mackeline en el monte Eschealkien, de la provincia de Perth en Escocia. Su altura es de 3550 pies sobre el mar, y unos 2000 sobre el valle que le rodea. Hizo excelentes observaciones; y probó que su plomada tenia una declinacion de 5″, 8‴.

Posteriormente el baron de Zach, hizo en el año de 1810 en Marsella, diversas observaciones y esperiencias en una altura en que se hallan las ruinas de un convento titulado *N. Sra. de los Angeles*, que tiene una gran vista al mediterráneo, hallándose á distancia de 5 á 6 millas de este mar. Hácia la parte del Oeste, á distancia de 8000 toesas de la costa, se halla una gran roca donde está puesto un fanál para los navegantes, y se llama la isla del Planier.

Estos puntos sirvieron al citado físico, para determinar las fuerzas atractivas de las montañas, pues en *N. Sra. de los Angeles*, la altura de Mimet ejercia

una atraccion que hacia declinar 2″ la plomada, siendo estos efectos casi nulos en la isla.

PROPOSICION II.

Los fluidos se atraen.

Una gota de mercurio conserva la figura redonda, y si la oprimimos aplanándola, luego que se deja libre vuelve á tomar su antigua figura, lo cuál prueba que las particulas tienen mútua tendencia; pues la figura esférica debe provenir de igualdad de fuerzas hácia un centro comun, y esta fuerza no puede ser otra que la atraccion. Quisieron decir que esto provenia del aire que oprimia igualmente al mercurio por todas partes: pero esto se destruye viendo que en el vacio sucede lo mismo. Ademas, si el aire fuera la causa de esta figura, cuando se aplana la gota, debería permanecer aplanada por ser mayor lá presion del aire en la superficie *db*, y *xs*. (Lám. 1, fig. 5,) que en las superficies *dx*, *bs*. Se debe contar con la presion hecha en la superficie *xs*, por que aunque es ciérto que el aire no gravita en toda ella, pero el plano le hace una opresión hácia arriba igual á la que hace la columna de aire hacia bajo en *d b*.

Mas espliquémos el fenómeno, segun el sistéma newtoniano, y dirémos; en el diámetro mayor hay mayor número de partículas, que se atraen mutuamente; y por consiguiente mayor fuerza que en el diámetro menor segun se vé; luego han de vencer y acercarse las partículas del diámetro mayor, retirándose las del menor; luego la figura ha de quedar esférica. Supongamos que dos hombres se tiran de las manos para unirse, á tiempo que dos niños

cruzando la suyas quieren hacer lo mismo: es patente que los hombres se unirán, y los niños á pesar suyo tendrán que separarse; otro tanto les sucede á las partículas del mercurio, en los dos diámetros desiguales.

Se manifiesta igualmente que el aire no puede ser la causa de este fenómeno: observándose que mientras mas denso es el fluído, mas esféricas son las gotas, y á el aire le seria mas facil redondear el fluído, mas ligero que el mas pesado. ¿Pero que nos cansamos, cuando la misma adherencia de las pequeñas partículas, es una prueba de su atraccion? Efectivamente, los físicos opinan que las partículas de los líquidos son esféricas, y sabemos que las esferas solo se tocan en un punto; luego estas partículas no tienen ningun enlace; y si no tuvieran una fuerza de atraccion, ¿quien las habia de sostener, mayormente en el vacío donde no hay aire que las oprima? ¿No sucedería lo mismo que si quisiéramos reunir muchas balas formando una esfera, sin ponerles puntales, ó cuerpos que las sostuvieran? ¿No se caerían corriendo por el plano? Pero nos dirán, que es la materia sutil carteciana, la que detiene estos globos. Esta materia sutil es una de las degraciadas sutilezas de Cartesio, cuya existencia no han podido probar sus partidarios: pero supongamos que exista, se dirá de ella lo que del aire ó de cualquier otro fluído que quiera suponerse.

Si se aproximan dos gotas de mercurio, se vé que van alargándose, y en el momento en que se tocan forman una sola gota perfectamente circular. El movimiento de la reunion es el mas rápido que puede imaginarse. ¿Pero cual es la causa de que con solo acercarse vayan perdiendo su figura circular, y en el momento en que se tocan se reunan ve-

losmente? ¿No dirémos que la una llama á la otra, y que tienen mútua tendencia? Pero tendencia y atraccion es una misma cosa; luego tienen mútua atraccion.

Una mezcla de aceite de tártaro y aceite de sal muy claros, si se agitan por algun tiempo, se combinan y pierden su liquidez, formando una pasta sólida. Lo mismo sucede con el espíritu orinoso y el alkohól de vino, que producen un sólido semejante al cristal. La clara de huevo adquiere solidez bastante notable si se mezcla con espíritu de sal marina, ó con aceite de vitriólo. Estos diferentes espíritus tienen igualmente la propiedad de coagular la sangre.

PROPOSICION III.

Los fluidos y los sólidos se atraen mutuamente.

Taylor hizo el esperimento de colocar en un lado de una balanza un pedazo de madera de Pinavet, de una pulgada en cuadro y tres ó cuatro líneas de grueso, de modo que hubiera equilíbrio. Bajando despues la balanza hasta tocar la madera sobre la superficie del agua, se encontró que eran precisos cincuenta granos en el lado opuesto, para que la balanza perdiera el equilíbrio. Este efecto se hace mucho mas sensible, siempre que la madera se halle bien remojada.

Segun las observaciones de Moreau, Maret y Durande, dos láminas de metal de una pulgada de diámetro, se adhirieron con el mercurio mas ó menos, segun su diversa especie en el órden siguiente:

		Granos.
De oro una fuerza igual al peso de	- - -	446
De plata	- - - - - - - - - - - - -	429
De estaño	- - - - - - - - - - - - -	418
De plomo	- - - - - - - - - - - - -	397
De bismuto	- - - - - - - - - - - - -	372
De zinc	- - - - - - - - - - - - -	204
De cobre	- - - - - - - - - - - - -	142
De antimonio	- - - - - - - - - - - - -	126
De hierro	- - - - - - - - - - - - -	115
De cobalto	- - - - - - - - - - - - -	8

Para hacer estos esperimentos es preciso usar de mercurio muy puro, y metales sin liga, cuyas laminas sean muy lisas, colgadas por el medio para que la fuerza que tire sea igual por todas partes; debe en fin esperarse algun tiempo para que el fluido se adhiera bien al sólido.

Advertimos con los citados físicos, que una lámina de acero rayada necesitaba algunos granos mas para separarse, que otra lisa, lo que debe resultar necesariamente, por el aumento de la superficie que hay en la lámina rayada.

Las adherencias no siguen la razon de las densidades; pues entónces el plomo se adheriria mas que la plata: el estaño ménos que el cobre: el zinc ménos que el hierro: el cobalto mas que el antimónio, hierro, cobre, zinc, y aun el mismo estaño. ¿ Cual es pues el órden que siguen estas adhesiones? Es precisamente el de las afinidades químicas, en la graduacion de la mayor ó menor disolubilidad de los metales por el mercurio, constantes en todas las observaciones conocidas. De estas afinidades tratarémos en la física particular.

Chabaneau, pretende que los citados esperimentos no menos que el de Taylor, prueban solamente la adherencia de los fluídos entre sí, y no la de éstos

con los sólidos: por que el mercurio se combina con los metales, y el agua con la madera, de suerte que la adhesion es entre las partículas del agua combinadas y las de la superficie del agua donde cae la madera, diciéndose lo mismo del mercurio. Por la misma razon parece que se infiere todo lo contrario; pues si el agua y el mercurio se mezclan con los sólidos de modo que no basta la atraccion de las otras partículas del mismo fluído para separarlas, es prueba de que tienen adhesion con las particulas del sólido. Mientras mas se empeñe Chabaneau en probar la adherencia de las particulas fluídas, tanto mas probará la de estas con el sólido: pues sinó fuera así, todas se unirian quedándose la madera seca, y los metales sin mercurio adherente. Sin motivo pues dice Chabaneau, "que Moreau, Maret y Du-"rande, acádemicos de Dijón, nada ménos prueban "que la adhesion del mercurio con diversos metales, "á lo ménos con los qué pueden disolverse por es-"te líquido como el oro, plata y estaño."

Du Tour probó la adherencia de diversos planos con el mercurio, teniendo cada uno once lineas de diámetro.

Disicos.	Granos.
De cristal	194
De talco unido al cristal	119
De sebo	49½
De papel cubriendo al cristal	27½
De cera blanca	11

El disco de madera de box, no se adhiere sensiblemente al mercurio: pues un solo grano bastaba para separarlo, prueba de la corto afinidad de esta madera con dicho fluido.

Algunos fisicos creyéron que un fluído especificamente mas grave, no se adheria á un sólido mas leve; y para destruir este error, hizo Muschembroek las observaciones siguientes.

Los cuerpos graves y los muy leves, atraen con mucha fuerza al bálsamo de minio, que es un fluido muy grave.

La sangre se adhiere á un lienzo y á un papel, que son cuerpos mas leves.

El aceite de vitriolo se une á maderas levísimas, al papel, lienzo y hojas de plantas.

El aceite destilado de cinamómo, es atraido por el algodon, lana y corcho, cuerpos levísimos.

Una gota de mercurio tocandola con un cristal, se une á él, y si le acercamos dos cristales, toma la figura de una esferoide; cuyo exe mayor pasa por dichos cristales.

Si á los vapores del mercurio calentado, se presenta un lienzo humedecido, una plancha de hierro muy bruñida, o un papel, se formarán gotas que permanecerán adheridas á dichos cuerpos, sin embargo de ser menos densas que ellas.

Una mezcla de estaño y plomo, es mas grave que el estaño, con todo; el fuego la liquída mas facilmente, y despues de líquida se ve que el estaño la atrae.

Lo mismo dirémos de la mezcla de cobre y plata, mas grave que el cobre y atraida por él.

Sucede lo mismo con la mezcla de oro y plata, que derretida se une á la plata que es ménos grave.

El cobre y laton derretidos se unen al hierro que es específicamente mas leve.

El oro disuelto en agua régia, si se le hecha espíritu de vino, al punto se une con él, dejando el agua régia, y formando una especie de tela que flota por decirlo así, sobre dicha agua.

Son muchos y muy familiares los esperimentos

que prueban la atraccion entre los cuerpos fluidos y sólidos. Los cuerpos mojados si se voltean, á pesar de la gravedad del fluído, lo conservan sin dejarlo caer.

Una esponja que apenas toca el agua por una estremidad, va atrayéndola hasta quedar toda mojada, y lo mismo sucede con un terron de azúcar.

Una cuchara ó cualquier cuerpo introducido en una taza de café, por exemplo, se advierte que suspende dicho fluído por sus inmediaciones, haciéndolo quedar mas alto que lo restante, contra las reglas del nivel que guardan siempre los líquidos; y si acercamos la cuchara á la orilla de la taza, se vé subir por entre ambos el fluido. Este esperimento se ha hecho mas notable introduciendo dos láminas de cristal unidas por un lado, y muy poco abiertas por el otro, en términos de formar un pequeño ángulo; pues se vé que el fluído sube notablemente por dentro de éllas, y mucho mas si se ha tenido la precaucion de mojarlas.

En un vaso lleno de agua, se introdujo el estremo de un paño, y se vió que subiendo el agua por él, vino á derramarse hasta quedar á nivel el agua esterior, con la interior, sucediendo esto en el vacío de la máquina neumática, segun las observaciones de Petit.

Por la misma razon vemos subir el aceite en la mecha de una lámpara: los ladrillos acabados de estraer del horno, atraen el agua con grande estrépito y violencia. Las pipas de fumar nuevas del mismo modo la atraen. El barro de que usan los lavadores, se aplica para quitar las manchas de aceite de los paños, por que lo atraen con mas fuerza que la lana; y por esta razon se libran del aceite; del mismo modo se quitan manchas grandes de los vestidos.

Si un tubo por ambas partes abierto y lleno de arena, se introduce en el agua, sube esta por la arena hasta la estremidad del tubo.

Un tubo de cristal si por una de sus estremidades se le ata un paño, y se llena de bermellon, haciéndolo tocar en la superficie del agua, esta atraída fuertemente, subirá hasta 30, y aun hasta 40 pulgadas. Si el mismo tubo asi dispuesto le hacemos tocar la superficie de la tinta de escribir ó de la tintura de azafran, el bermellon atraerá ménos estos fluidos que el agua, pero si el tubo se llena de ceniza, ésta atraerá el ágna á la altura de 32 pulgadas y aun mas. Esto sucede con mas fuerza en la máquina neumática.

Un papel de estraza enroscado é introducido en un tubo, de modo que apenas ocupe la mitad de su cantidad ó diámetro, atrae el agua á la altura de 153 líneas; mas si el papel ocupa toda la cavidad del tubo, el agua subirá 225 líneas. (*)

Dos láminas de cristal de 3 pulgadas de ancho y 20 de largo, colocadas, una horizontalmente y otra de modo que forme un ángulo con la primera de 10 á 15 minutos, si se les unta espíritu de trementina, y luego se pone una gota del mismo espíritu en el estremo de la lámina, se verá que corre hácia el vértice, (esto es al punto de union de las dos láminas) con un movimiento constantemente acelerado. Si al tiempo de su carrera levantamos el vértice de este ángulo, se verá que la gota corre hácia arriba, siguiendo la misma lámina, pero con un movimiento retardado en razon directa de la altura que le hemos dado al vértice de dichas láminas. Este esperimento es de Newton: y lo hemos sacado de la física de Guevara Basoazabal.

(*) Muschem. Elem. phys. tom, 1. pag. 228.

Se observa igualmente la atraccion de los fluídos y sólidos, introduciendo en un cuarto obscuro un rayo de luz *a b*, (Lam. 1, fig. 6.) al cual se le aproxima un cuerpo metálico que termine en punta, y se advierte que en lugar de seguir su direccion al punto *s*, la varía viniendo al punto *n*, acercandose a dicho cuerpo. Está inflexion se hace mas visible aproximando un cuerpo esférico; pues se le vé iluminado por una parte de su curba, mayor de la que podía iluminar el rayo de luz, si no variara de direccion. Se observa tambien que esta mutacion es proporcional á la densidad del cuerpo que le aproximamos.

Si en un prisma de cristal *b*, (Lam. 1, fig. 7.) cae un rayo de luz en términos, que al salir por la superficie inferior forme con élla un angulo muy agúdo en *a*; vemos que en lugar de seguir su direccion á el puntó *z*, vuelve á entrar en el prisma, y sube al punto *p*; lo que prueba que el cristal lo atrae, separándolo de su direccion. Mas si al salir del prisma formara un ángulo mayor, entónces siendo mayor la distancia entre el rayo y el crístal, no podría éste atraerlo tanto, que lo hiciese subir.

Divisiones y leyes de la atraccion.

Aunque la fuerza atractiva sea una misma, le damos sin embargo diversos nombres, segun diversas consideraciones. Cuando atendemos á el cuerpo atraente, se dice *atraccion activa;* cuando á el atraido *pasiva*, y cuando á uno y otro *mutua*. Hablando rigorosamente toda atraccion es mútua; por que si una partícula de materia tiene tendencia á otra, esta tambien lo tiene á aquella.

Considerándola como ejercida entre grandes cuerpos, y á grandes distancias en todo el universo; le

llamarémos *pesantez ó atraccion universal*; y si la consideramos en las minimas partículas, le llamamos *pesantez ó atraccion corpuscular*; esta puede ejercerse entre las moléculas de un mismo cuerpo, y se llama *fuerza de coherencia*, ó entre diversos cuerpos, v. g. el agua y el cristal, y se lláma *fuerza de adherencia*. * Observamos que algunos cuerpos se unen particularmente como si tuvieran una estrecha amistad, y á estas conveniencias de dos ó mas cuerpos, las llamamos *afinidades*, que son de diversas clases.

Afinidad de *agregacion*, es la que se halla entre las partes de una sustancia homogénea, como entre las partículas del agua, para formar un agregado.

Afinidad de *composicion*, es la que se encuentra entre cuerpos de diversa naturaleza para formar un *compuesto*.

Afinidad doble, ó de *concurso*, es aquella por la cual dos ó mas cuerpos, se unen para formar un nuevo compuesto, dejando obrar las afinidades respectivas de sus partes constituyentes: así, reuniéndo sal comun con sal de nitro disuelta en agua, despues de evaporada dicha agua, resulta una especie de sal distinta totalmente de ambas.*

Afinidad de *intermedio*, es aquella por la cual dos cuerpos que jamas se hubieran unido, se unen haciendo primero una composicion ó sobre composicion de uno de ellos: mas brevemente, *es la que resulta entre dos cuerpos, por medio de otro*, como el aceite y el agua, que siendo casi incapaces de unirse, se unen fácilmente mezclando entre ellos una yema de huevo.

LEY PRIMERA: *la atraccion es proporciónal á la masa del cuerpo.*

* Cartas químic. de Compagnoni. cart. 4.

Debemos considerar la atraccion como una ley que obedecen todas las partículas de la materia, y segun fuere el número de estas, así será mayor ó menor el de las tendencias ó atracciones; pero la masa es igual al número de partículas, luego la atraccion es proporcional á la masa.

SEGUNDA: *la atraccion entre dos cuerpos sigue no solo la razon de la masa del atraente, sino tambien del atraido.*

Las tendencias segunda primera ley, son propias de todas las partículas de materia; luego las del cuerpo atraido atraen tambien las del otro cuerpo; luego la atraccion total no puede sacarse, sino considerando la masa de ambos cuerpos.

TERCERA: *la atraccion es proporcional á las superficies que se tocan, y á la densidad de los cuerpos.*

Segun que los cuerpos son mas densos, presentan mayor número de particulas y ménos poros en la superficie, creciendo el contacto segun son mayores los planos que se tocan; luego la fuerza atractiva, está en razon compuesta de las superficies y de la densidad de los cuerpos en contacto.

CUARTA: *la atraccion es en razon inversa del cuadrado de las distancias.*

Segun los esperimentos de D. Jorge Juan y D. Antonio Ulloa, en el monte Pinchincha, éra preciso acortar el péndulo 0,28 de línea, para que hiciera las oscilaciones en el mismo tiempo que en Quito; y sabiéndose que dicho monte tiene 954 toesas de altura, se hizo esta proporcion: el cuadrado del rádio terrestre en Quito, es al mismo rádio aumentando 954, como la longitud del péndulo en la cumbre del monte, á la del mismo péndulo en Quito; y se encontró el cuarto término de esta proporcion, correspondiendo á el esperimento con

muy poca diferencia; que provenia segun advierte Chabaneau de causas accidentales que es imposible señalar, siendo una de ellas la mayor fuerza centrífuga que tienen los cuerpos sobre la altura del monte.

Newton calculó que si la luna se abandonase á su gravedad y cayese hácia la tierra, correria en un minuto 15 pies de Paris, y se sabe que la luna dista del centro de la tierra 60 radios terrestres. Mas por las observaciones hechas sobre el descenso de los cuerpos á corta distancia de la tierra se deduce que la luna correria en el mismo tiempo de un minuto 54,000 pies de Paris, que es cabalmente el producto de 15+60+60 y asi se advierte que la luna á una distancia 60 veces mayor no corre un espacio 60 veces menor que el que correria, descendiendo cerca de la tierra, sino un espacio que está en razon inversa del cuadrado de la distancia. El espacio corrido en el descenso indica la intensidad de la atraccion; luego esta se halla en razon inversa de los cuadrados de la distancia.*

Supongamos que *e i* (Lám. 1, fig. 8,) sea el semidiámetro de la tierra y que esté prolongado hasta *a*; dividase esta línea en muchas partes, iguales cada una al semidiámetro *c i*. Si un cuerpo situado en el punto *i* de la superficie de la tierra, pesa en esta parte 3600 libras, este mismo cuerpo situado á la altura de 60 semidiámetros sobre la superficie de la tierra, no pesará mas que una libra. Pero si se sitúa á todas las diversas alturas intermedias señaladas sobre la línea *c a*, no tendriá en estas diversas partes, sino los pesos que estan señalados;

* Se ha omitido una ligera fraccion que no altera sustancialmente el cálculo, y asímismo se han omitido los datos en que se funda, por pertenecer unos á la teoria del descenso de los cuerpos, y otros á la parte astronómica de que no hemos tratado.

por que el peso de 3600 libras, que tiene este cuerpo en el punto *i*, debe dividirse por el cuadrado de las diferentes distancias, en que se halle del centro *c*, y el cociente espresará el peso que tiene, en todos estos puntos.

La mayor parte de los fisicos opina que la atraccion corpuscular no sigue la ley que acabamos de esponer, sino que se ejerce en razon inversa de los cubos de las distancias ó de otras potencias mayores, pues siendo nula esta atraccion á una mínima distancia, parece que no disminuye simplemente como los cuadrados.

Sin embargo algunos opinan que es uniforme la ley de atraccion, y que la sencillez de la naturaleza no admite esta diferencia entre el modo de atraer una partícula, y una masa considerable, que sin duda se compone de muchas partículas. Esta doctrina me parece mas exacta, y por lo que hace al fundamento de la contraria, creo que está destruido, si advertimos que los mismos efectos pueden producirse, aunque la atraccion se disminuya solamente como el cuadrado de las distancias, que es lo que vamos a manifestar.

Una partícula ejerce su atraccion segun su masa, y esta es infinitamente pequeña, luego aun cuando decrezca la fuerza en razon del cuadrado de la distancia, debe ser casi nula cuando se separen las partículas, aunque apenas haya un espacio perceptible entre ellas, pues siempre este espacio será mucho mayor que las mismas partículas. En el contacto es cierto que se egerce una fuerte atraccion, la cual comparada con la que se esperimenta á corta distancia, no parece que disminuye en razon de los cuadrados, pues la segunda atraccion es casi nula; pero advirtamos que el contacto es la nulidad de distancia, y que esta comparada con alguna distancia

real, aunque sea muy pequeña, nos dará mayor diferencia que la que tal vez se observa entre la primera y segunda fuerza atractiva. Además debe advertirse que cuando se han hecho estos esperimentos, siempre se emplean dos cuerpos ó dos masas notables por pequeñas que sean, y en este caso las partículas separadas quedan sujetas á la fuerte atraccion de las otras, con las cuales forman una masa, y esta mayor fuerza atractiva hace que no se note la que ejerce respecto de la partícula que se halla en otro cuerpo, y que antes por estar en contacto, ejercia una atraccion semejante á la que tienen entre sí las de un mismo cuerpo.

QUINTA: *La atraccion varía segun la diversa figura de los cuerpos y de sus moléculas.*

Efectivamente, la diversa figura causa diversos contactos y diversas distancias entre las superficies de los cuerpos; mas segun las citadas leyes, la pesantez sigue la razon inversa del cuadrado de la distancia, y la directa de los contactos; luego la atraccion varía segun la diversa figura de los cuerpos y de sus moléculas.

Deducciones de la doctrina de atraccion.

Muchos físicos han contado en el número de las leyes de atraccion varias proposiciones, que nosotros miramos como deducciones de la doctrina, y propondremos en el órden siguiente.

1ª *Un corpúsculo atraido por otro cuerpo de gran masa, no esperimentará sensiblemente mayor atraccion, aunque el cuerpo atraente se aumente, el duplo, ó cuádruplo, siempre que estén en la superficie de la tierra, ó de otro cuerpo notable.*

Porque las partículas de un cuerpo muy distantes de sus superficies ejercen muy corta potencia, y como por otra parte la atraccion es proporcional no solo á la masa del atraente, sino á la del atraido, podemos figurarnos que en el aumento de la masa del cuerpo atraente no se ha hecho otra cosa que aumentar unas tendencias casi nulas respecto del corpúsculo. Esta es la razon por que una pluma que vuela sobre un gran edificio, no se menea, y por que vuela sobre la superficie de la tierra sin que se haga notable su tendencia particular á aquella. Mas si el cuerpo atraente se aumenta con exceso, y la declinacion se observa con instrumentos matemáticos exactos, se notará el efecto como lo advirtió el citado D. Antonio Ulloa en las oscilaciones del péndulo cerca del monte Pinchincha.

2ª *Si un cuerpo circula á otro en quietud, la masa del atraente es como el cubo de la distancia del cuerpo, que se mueve, dividido por el cuadrado del tiempo periódico.*

La atraccion es como la masa del cuerpo atraente dividida por el cuadrado de la distancia, es decir: $a=\frac{m}{d^2}$. En el círculo, la fuerza centrípeta es (como demostrarémos en lo sucesivo) igual al cuadrado de la velocidad dividido por la distancia, de modo que $a=\frac{v^2}{d}$ y así $\frac{v^2}{d}=\frac{m}{d^2}$ y por consiguiente $v^2=\frac{m}{d}$. Mas en lugar de velocidad, pongáse la línea circular descrita, ó lo que es lo mismo (segun se demostrará) el rádio dividido por el tiempo, y tendremos $\frac{d^2}{t^2}=\frac{m}{d}$ luego $m=\frac{d^3}{t^2}$.

Como los planetas y principalmente los satélites de Júpiter y Saturno, describen unas elipses poco escéntricas, que pueden confundirse con los círculos, se usa de este cálculo para determinar las masas del Sol, Júpiter, Saturno, &c.

3ª *Si las partículas de un fluido por razon de su densidad ó de sus contactos, se atraen mas entre sí, que las de otro fluido ó de otro cuerpo sólido, no se unirán dichos fluidos, y ménos con el sólido, apareciendo una especie de enemistad ó repulsion.*

La causa es muy clara, pues para que un cuerpo se una, ó separe las partículas de otro, es preciso que en uno de los dos haya mayor atraccion respecto de las partículas del otro, que las que éstas tienen entre sí; pues de lo contrario cada cuerpo conserva su estado, y resulta la aparente repulsion que ha alucinado á muchos físicos.

Este es el lugar de esponer algunos fenómenos, que han creido como prueba de su doctrina, los defensores de la repulsion.

El rocío se une á ciertas telas, y no á otras; entre las hojas de los árboles algunas parece que repelen sus gotas. En las disoluciones químicas se ven unir unas partículas, y rechazar otras; luego parece que hay repulsion en la naturaleza.

Luego parece diria yo, que la naturaleza siempre es una en sus leyes, y que en razon de la densidad, figura y otras circunstancias, unas telas atraen el rocío, y otras lo dejan caer; unas partículas se unen, y otras se separan. Confieso que hay aspectos de repulsion; pero juzgo, siguiendo á los últimos físicos, que los produce la fuerza atractiva en contrarias circunstancias.*

* Véase á Muschembroek Elem. Phys. tóm. 1º, pág. 325, donde pone muchos efectos de repulsion.

Otra duda se presenta que á la vista de los contrarios es de mucho peso, tomada de la refraccion de la luz. Se sabe que la superficie mas tersa, vista con un microscópio, está llena de prominencias que respecto de los rayos de la luz son muy notables: luego cuando la luz refleje en rayos paralelos, no puede haber tocado en la superficie del cuerpo, así como no podrian volver paralelamente muchas balas que se tiraran sobre un pedregal; luego la luz refleja antes de llegar al cuerpo; luego este tiene un espacio de repulsion que hace volver la luz.

Cuando se trate detenidamente de esta materia, se esplicará por estenso el fenómeno; mas por ahora basté decir, que en las mismas cavidades que se hacen sensibles al microscrópio, encuentra la luz infinitos planos paralelos, y aquel cuerpo despedirá los rayos paralelamente que tenga mayor número de estos planos, de manera que la sutileza de la luz en que se fundan los contrarios, sirve para destruir su argumento. Efectivamente, por esta razon encuentra la luz los dichos planos, así como en una pared inclinada no encontraría un hombre donde sostenerse; mas una hormiga hallaria infinitos planos horizontales por donde caminar libremente.*

* Newton admitió la fuerza repulsiva, pues dice en su tratado de óptica, supuesto que los metales disueltos en ácidos solo atraen una corta cantidad de ellos, es claro que su fuerza atractiva no alcanza, sino á cortos intervalos. Así como en el Algebra donde se desvanecen y faltan las cantidades afirmativas, allí mismo empiezan las negativas: asi tambien en la mecànica cuándo falta la atraccion debe suceder la fuerza repulsiva. De las reflexiones de los rayos de la luz, parece que se infiere que existe tal fuerza. Tambien se deduce de la emision de lá luz: un rayo luego que es arrojado del cuerpo luminoso por el movimiento, vibratorio de sus partes, y que sale de la esfera de su atraccion corre con una velocidad inmensa. Ultimamente parece que tambien se infiere de la produccion del aire y de los vapores, pues las particulas estraidas de los cuerpos por el calor ó

TUBOS CAPILARES.

Pueden considerarse como una prueba de la atraccion entre los fluidos y sólidos, los efectos que observamos en los tubos capilares, llamados así por tener muy poco diámetro, aunque no es preciso que sean tan estrechos como un cabello, segun parece que indica el nombre. Si se pone la boca inferior de uno de éstos turbos una gota de agua, se introduce formando una columna del líquido hasta cierta altura. Este mismo efecto se observa cuando se introduce el tubo en un recipiente de agua, la cual se eleva hasta la espresada altura, y aun basta que el tubo toque á la superficie del agua para producirse este fenomeno. Este ascenso es mayor cuando el tubo es mas estrecho y tambien se aumenta por la densidad de la materia de que está formado.

Los mismos resultados se consiguen en el vacío, que en el aire libre, y esto prueba que es distinta la causa que suspende el agua en un tubo capilar, que en uno torriceliano, y que se debe á la fuerza atractiva del mismo tubo, que siendo mas estrecho que los ordinarios, ejerce su atraccion mas fuertemente y suspende la columna del líquido.

fermentacion, luego que han salido de la esfera de la atraccion, de su cuerpo, se separan con mucha fuerza, tanto de él, como mútuamente entre sí. A esta misma fuerza repulsiva, se ha de atribuir que las moscas caminan sobre el agua sin humedecerse las paticas, tambien los vidrios de los grandes telescopios, colocados unos sobre otros no se tocan fácilmente.

Para manifestar el medio con que se producen estos efectos, representémos la superficie del agua por la línea *ab*, (Lam. 1, fig. 8,) y sea una lámina de cristal, observarémos que el agua se suspende cerca de la lámina como presenta la figura. Si consideramos ahora dos láminas semejantes *de*, *m*. (Lám. 1. fig. 10,) puestas a una corta distancia se cruzarán por decirlo así las porciones de agua suspendidas, formándose una curva, *r s p* y mientras mas reunidas estuvieran las láminas, mayor sería la curvatura de dicha línea. Mas es claro, que la porcion de agua que puede suspender la lámina *nt*, llega hasta el punto *c*, y la suspendida por *nd* llega hasta *s*: luego una cantidad de esta agua contenida en el triangulo *c s b*, esperimenta los efectos de la atraccion de ambas láminas, diciendose lo mismo del agua contenida en el triángulo *n s nb*, y como estas fuerzas atractivas conspiran a suspender el agua, auxiliándose mutuamente harán que el líquido suba á la altura *a p*. En estas circunstancias vuelve á producirse el mismo efecto formandose la curva *bxm*, y por la misma razon el agua contenida en los triángulos semejantes á los inferiores, se suspenderá a la altura *bm*, y así sucesivamente. Esta elevacion terminará cuando las columnas centrales como se representa por *bh*, lleguen á adquirir un peso que no pueda vencerse por la fuerza atractiva de las láminas, pues debemos considerar que aunque es cierto que en todos los puntos de las láminas como *cn*, *rp*, *bm*, se ejerce una fuerza atractiva que tiene suspendido el líquido, esto no impide que las particulas del centro hagan algun esfuerzo hácia abajo debido á su gravedad, á la manera que gravitaría un globo constituido en *s*, si estuviera tirado por unos hilitos, en direccion horizontal desde cada una de las laminas, y se tratára de suspenderlo mucho mas. Luego ejercien-

do estas partículas con una atraccion que las tiene como [illegible], la parte superior de las dos láminas tendria que suspender mayor peso para elevarlas la columna. Cuando las láminas se aproximan es mayor el número de las columnas, y mayor la fuerza atractiva, pues ésta siempre es en razon inversa del cuadrado de la distancia, segun se demostrará en lo sucesivo, luego deberá ser mayor la altura del líquido. Un tubo podemos considerarlo como estas láminas de que acabamos de hablar, y se comprende fácilmente la razon del ascenso de los líquidos en los que sean capilares.

Muchos esplican estos fenómenos por el equilíbrio de las columnas del líquido; pues si suponémos un tubo capilar *d*. (Lám. 1, fig. 11,) tocando á la superficie del agua; por las fuerzas atractivas suspenderá las partículas del líquido que corresponden á la columna *b*, y entónces dicha columna se hace mas ligera que sus laterales *a*, *b*, y por consiguiente es preciso que suba el líquido hasta que su mayor cantidad compense lo que pierde de peso por la accion del tubo, elevándose por exemplo á la altura *r a*. Toda esta teoría se funda en la propiedad que tienen los líquidos de ponêr su superficie á nivel, y guardar el mas exacto equilíbrio en sus columnas. Dicha propiedad cuya idea ha sido preciso anticipar para la inteligencia de este sistema, se esplicará en el tratado de los líquidos, mas por ahora puede suponerse como innegable.

Sea cual fuere el mérito de los autores que siguen esta opinion, y las observaciones en que se fundan, yo no puedo convenir con sus idéas, pues luego que elevado el líquido á la altura *r n*, la columna *b* nivelada con sus laterales y las siguientes como representa la figura, tendrá igual porcion de agua, y quedará constituido el equilíbrio sin la adicion de r–

guna otra sustancia; pero si suponémos que el agua contenida en el tubo, ayuda con su peso (por cierto que sea) á la columna *b*, entonces la columna total pesará mas que la inmediata *c* por exemplo, y no se dará tal equilíbrio. Por otra parte sabemos que el efecto se produce con solo poner una gota de agua en la boca inferior del tubo, y en este caso no podemos decir que el equilíbrio de las columnas produce el efecto cuando no las hay.

Yo creo pues, que el agua contenida en el tubo es como nula, respecto de la del recipiente, pues aunque separémos dicho tubo, quedaría siempre suspendida en él, y las columnas del recipiente permanecerían en el mismo estado. De aquí infiero que el tubo lleno de agua hasta la altura *r n*, produce sensíblemememente el mismo efecto en la columna *b*, que produciría un sólido de cristal del mismo tamaño y figura tocando á la superficie de la columna, pero sin gravitar sobre ella.

Segun la doctrina que hemos establecido, se puede dar la razon de algunos fenómenos en los tubos capilares, que han merecido un dilatado estúdio de los fisicos.

Fenómeno primero: introduciendo un mismo tubo capilar en diversos fluídos, el ascenso de ellos no es en razon directa de su densidad, como que muchas veces los mas ligeros suben ménos que los mas graves, como lo manifiesta la tabla siguiente, que he sacado de la obra del padre Celis, Elementa Philosophiae, y que está formada por las observaciones de Muschembroek, segun dice el referido autor.

	Altura en líneas	peso específico.
Agua	26	1000
Espíritu de vino	18 á 19	866
Aceite de Trementina	18 á 19	874
Espíritu de nitro	20	1315
Aceite de nabos	21	913
Aceite de tártaro	25 á 26	1550
Aceite de vitriolo	26 á 27	1700
Espíritu de sal de amon.	32 á 33	1120
Orina	33 á 34	1120

Hay fluídos muy ligeros que tienen mucha atraccion entre sus partículas, y que ya por la figura de estas ó por el tamaño de aquellas, no proporcionan mucho contacto con la superficie del cristal, y en este caso es menor la fuerza del tubo para suspender dichos líquidos, y de aquí resulta, que es menor el ascenso.

Segundo: si un tubo está mojado por dentro, sube el líquido con mas facilidad y á mayor altura, por que se disminuye el diámetro del tubo por la cantidad de agua que está adherida á lo interior, y es lo mismo que si usáramos de un tubo mas estrecho, en cuyo caso creciendo las fuerzas atractivas crece el efecto.

Tercero: untado el tubo con una sustancia grasienta, no suspende el agua, y casi sucede lo mismo cuando es muy antiguo, por que el agua no se adhiere á la grasa, y en el tubo antiguo se forma una costra que produce el mismo efecto.

Cuarto: El azogue y los metales derretidos, lejos de subir bajan en los tubos capilares, tanto mas cuanto mas estrechos sean dichos tubos.

El azogue tiene mas atraccion entre sus partículas que con el vidrio y por tanto no debe subir. Si fuera una sola gota de mercurio podriá adherirse al cristal,

segun la observacion quinta de Musschenbroek, por que entónces conservando la atraccion de sus mínimas partículas, cedería sin embargo la gota á la fuerza atractiva del cristal: pero como aquí es una masa de mercurio que toda junta tiene mas fuerza que muchos tubos capilares; la gota de mercurio solicitada en sentidos opuestos por la fuerza del fluído y la del tubo, es imposible que ceda á esta siendo menor.

Mas cuando el mercurio está purificando, esto es, libre de todas las partículas estrañas, teniendo mucho mayor contacto con el vidrio que tambien se supone exactamente limpio, se observa que el mercurio de algun modo sube, por que ya la nueva atraccion, aunque no es suficiente para separar las partículas de mercurio, si lo es para vencer su gravedad y mantenarlas suspendidas. Esto se confirma con las esperiencias de Balbó, que consiguió, purificando el mercurio, hacer que la depresion fuera menor, y que de algun modo subiera en el tubo, aunque nunca llegó al nivel. Mayor efecto consiguió Casbois, habiéndose elevado el azogue algunas líneas sobre el nivel como refiere Haüy.

En prueba de que el azogue tiene mas atraccion consigo mismo que con el vidrio, aproxímese á una cantidad de este fluído una lámina de cristal, á la cual esté adherida una gota del mismo azógue, y se observará que abandonando el cristal se reune á su semejante. Libés deduce que el peso de la cantidad de azogue deprimido, cuando se introduce en él una lámina de cristal á cuyo rededor se forma como un borde undido, es la medida exacta de la fuerza con que se atraen dos líneas de partículas de azogue del largo de la lámina, y esta pierde tanto de su peso, cuanto es él del fluído deprimido. Si se aproximan dos láminas crece la depresion, y aun

mucho mas si en lugar de estas se usan de tubos capilares, siendo esta razon inversa de los diámetros de dichos tubos, ...

Se puede por este método calcular, segun dice el citado Libés, la atraccion del mercurio entre sus mismas partículas, comparandola con la del agua destilada tomando esta por unidad, pues basta multiplicar la profundidad de la depresion por el peso específico del mercurio, y dividir el producto por la altura á que se elevaría el agua en el mismo tubo. Muchas esperiencias han probado que la atraccion de las partículas del mercurio entre si comparada con la del agua, puede espresarse por $3\frac{6}{10}$, y por tanto es casi cuádrupla.

Quinto. Un tubo capilar compuesto de dos de diverso diámetro, como representa la figura 12, si se introduce en el agua por la parte mas estrecha sube este líquido á la altura *a b*, que es la misma á que subiría en un tubo cuyo diámetro fuese igual al de la parte superior de este, y si lo introducimos por la parte mas ancha, como representa la misma figura, subirá el liquido hasta *c*, que es la altura á que subiría en un tubo cuyo diámetro fuera igual al de esta parte superior.

En el primer caso la columna de agua sostenida en la parte estrecha, debe suspenderse nuevamente por las partículas del tubo en la parte mas ancha, y como estas se hallan mas distantes, no pueden ejercer una atraccion que baste á elevar el líquido á mayor altura, que si el tubo fuera todo del diámetro que representan las líneas de puntos, pues en uno y otro caso, el agua se hallaria elevada hasta la línea *nt*, y la cantidad superior sería suspendida por las particulas del tubo en la faja *ntab*, para la cual es casi indiferente suspender una columna central contenida en el tubo estrecho ó en el otro algo mas an-

cho. He dicho casí indiferentes, pues algo debe influir esto, y hablando con exactitud, la altura no debe ser la misma aunque sensiblemente lo parezca.

En el segundo caso, por la misma razon se vé claramente que el agua debe suspenderse á la altura á que subiría en un tubo tan estrecho como la parte superior del que representa la figura, pues podemos representarnos por las líneas de puntos una columna central elevada por la parte ancha del tubo, lo mismo que lo estaría si continuara la parte superior con su mismo diámetro.

Jurin á quien se deben estos esperimentos, hizo otro que consistió en suspender el líquido en una especie de embudo ó recipiente muy alto, que terminaba en un tubo capilar, de donde infería que solo el último anillo ó línea circular á donde llega el líquido dentro del tubo es la causa del ascenso, pues este embudo síendo tan ancho, mantenia el agua elevada solo por terminar en un capilar. No creo que dicho esperimento prueba lo que pretende su autor, pues solo manifiesta la teoría del tubo torriceliano, á que podemos reducir la parte mas ancha del embudo. Efectivamente las partículas de agua en el estremo capilar, lo obstruian impidiendo què el aire gravitara sobre el agua interior, y en este caso la atmósfera que oprimia el agua del recipiente, debia mantener elevada la que estaba en el embudo casi lo mismo que si la parte superior se hubiera cerrado herméticamente.

LECCION VI.

De la inercia.

Los cuerpos en quietud no se mueven sino hay una causa que los impela, y puestos en movimiento no reposan sino hay quien los detenga. Esta propiedad la conocen los fisicos baxo el nombre *inercia;* que quiere decir la inaccion ó indiferencia de un cuerpo para el movimiento ó quietud, de modo que por sí; no puede darse ó quitarse alguno de estos estados. Siendo preciso emplear alguna fuerza para mover ó detener los cuerpos, se ha creido que ellos ejercen una resistencia real, que se llama *fuerza de inercia.* Unas voces tan mal aplicadas como inercia, que significa inaccion; *fuerza* que significa potencia operante, produjeron una guerra interminable entre los filosofos de mas mérito. Newton admitió esta fuerza y el abate Nollet, la confirma con los esperimentos siguientes: Fórmense dos péndulos con globos sensiblemente inelásticos: dejese uno de ellos perpendicularmente en reposo: si dejamos caer el otro sobre éste desde la altura 4 v. g. (medida por un circulo graduado que se halle detras de dichos globos) se verá que solo suben por el arco opuesto hasta la altura 2. Un péndulo debe subir por la parte opuesta, el mismo numero de grados, que tiene la altura de donde ha descendido; pero los globos cayendo el primero de la altura 4, no suben sino hasta la altura 2; luego hubo una fuerza en el globo, que estaba en quietud, capaz de destruir 2 grados de movimiento. Algunos dijeron que esta fuerza se

identificaba con la pesantez de estos globos aunque varios Newtonianos pretenden que dicha pesantez debe reputarse nula, por hallarse sostenido el globo de manera que el hilo la destruyó toda, lo que me parece improbable, siendo cierto que el globo aun sostenido, egerce contínuas tendencias hacia la tierra. Tambien debe advertirse que á la menor separacion de la perpendicular ya el hilo no destruirá las tendencias del globo.

El segundo esperimento del Abate Nollet consiste en hacer caer dos globos de una misma altura dandole por el artificio de una maquina, un martillazo á uno de ellos al tiempo de su caida, y se observa que la mayor velocidad de un globo respecto de otro es exactamente proporcional á la intensidad del golpe: luego este globo aun en movimiento egercía una resistencia, supuesto que fué preciso emplear una fuerza para comunicarle mayor velocidad. Diariamente se observa esto mismo; pues vemos que un globo en movimiento, si queremos darle un golpe con la mano para comunicarle mas impulso, nos causa un dolor que proviene de un choque, una resistencia que ha sido preciso vencer, pues si el globo no resistiera á nuestra mano, cederia enteramente y no hubiera causado impresion, ni daño alguno.

Estos esperimentos como observa Sigaud de la Fond, lejos de probar la fuerza de inercia, prueban la opinion contraria; pues si el globo en reposo, siendo igual al movido, le presenta una resistencia proporcional, resulta que en el choque debia quedar extinguida la mitad de la fuerza que traía el cuerpo movido, y la otra mitad distribuirse entre los dos. Por tanto trayendo el primer globo una fuerza como 4 en el choque perdería 2, y repartiendo la restante entre ambos globos les tocaría á 1. Luego no podrian subir por el arco opuesto hasta la altura 2. Esto mismo diríamos del golpe del martillo, puesto que si el

globo resiste, es preciso que se gaste alguna fuerza en vencer su resistencia, y la restante no bastaria á comunicar un nuevo impulso exactamente proporcional á la fuerza del golpe.*

Sin embargo que no pueden negarse unos efectos semejantes á los de una fuerza de inercia; aunque no puedo admitir que esta fuerza sea cosa distinta de la atraccion y del impulso, manifestaré lo que pienso acerca de esto.

La materia tiene una verdadera inaccion, ó inercia

Vemos por la esperiencia, que los cuerpos no mudan de situacion por si mismos, sino que es preciso una causa esterior que las altere. Una masa impenetrable y pesada, lejos de ser apta para la accion, se opone á ella; por que necesitamos vencer su gravedad. Esta pesantez, aunque se halla en la materia, no es accion suya, sino del Creador que opera constantemente, y por eso, á menos que no haya un milagro, la materia siempre es pesada. Por lo que hace al movimiento vemos que para destruirlo es preciso ponerle obstáculos, y que dura tanto mas tiempo cuanto mas se remueven estos: de aquí hemos inferido que el movimimiento sería perpétuo, si no hubiera óbice luego la materia en sí tiene una verdadera inaccion ó inercia.

Algunos fisicos, y entre éllos Lebnitz,† creyeron que la materia en si tenia una virtud secreta operativa, al ver las operaciones de la naturaleza en las plantas, animales y minerales. Pero los que han observado los fenómenos de la atraccion, saben que la sola ley universal de la naturaleza produce estos efectos, y que la materia segun la opinion de todos

* Sigaud de la Fond tóm. 1. pág. 135.
† Vease al Abate Para Elem. Fil. tóm. 1. pag. 76.

los físicos comprobada por la espgriencia, y seguida por el gran Newton, debe mirarse como una masa inerte.

La inercia de los cuerpos en quietud proviene de la relacion de sus atracciones.

Si un cuerpo es atraído por todas partes igualmente quedará en quietud, así como una balanza en equilíbrio por la igualdad de peso, y si de una parte fuere mucho mayor la atraccion se inclinará á élla, y se unirá fuertemente á el cuerpo que atrae. Luego para moverlo es preciso emplear una fuerza real que supere la atraccion de la parte contraria, así como en la balanza en equilíbrio es preciso poner un verdadero peso en uno de sus lados para hacerselo perder; y asi como cuando uno de los platillos, está fuertemente unido a un plano, por tener dentro un gran peso, y es preciso hacer igual fuerza en el lado opuesto para suspenderlo. Luego la inercia de los cuerpos en quietud proviene de la relacion de sus atracciones.

La fuerza de inercia en los cuerpos en movimiento, identifica con el mismo impulso comunicado.

El impulso es una verdadera fuerza luego ha de hacer resistencia á su destruccion: y para extinguirlo se necesita emplear otra fuerza real. Los cuerpos no pierden sus propiedades á menos que no haya una causa que los altere, de modo que el cuerpo verde, sería eternamente verde, el amargo seria amargo, y el transparente sería transparente: luego siendo el impulso una fuerza y una propiedad real del cuerpo, deberá conservarlo eternamente, si no hay quien se lo quite, y para quitárselo se necesita-

rá una fuerza real por lo mismo que la materia es inerte, y por si nada hace, ni para que permanezca, ni para que se pierda el impulso.

Pero se dirá: que si la inercia de un cuerpo en movimiento consistiera en el impulso no se resistiria á recibir una nueva velocidad en la misma direccion de su impulso, segun prueba el citado esperimento de Nollet. Advirtamos que el cuerpo, aunque se mueva, podemos considerarlo como en quietud respecto de la velocidad que se le quiere comunicar, y asi resiste como los cuerpos quietos, pues aunque esté vencido el equilíbrio de las atracciones, no es lo mismo hacer bajar una balanza despacio, que velozmente; necesitándose para esto último doble peso. Mas no es ésta la que debe llamarse propiamente *fuerza de inercia* en el cuerpo que se mueve, sino solo aquella por la que se resiste á perder el movimiento que ya tiene, supuesto que por inercia entienden los fisicos rigorosamente "la tendencia " de un cuerpo á conservar su estado de quietud ó " de movimento."

No he opinado que la fuerza de inercia de los cuerpos que se mueven consiste en relacion de atracciones, por que estoy persuadido de que si se le comunica á un cuerpo un impulso proyectivo en un espacio infinito y vacío conservaría siempre el movimiento, y si fuera posible presentarle un cuerpo al encuentro, esperimentaríamos la misma resistencia. Luego, &c.

La fuerza que impropiamente se llama de inercia, es totalmente estrínseca á la materia.

Procede en los cuerpos en quietud de la relacion de sus atracciones, y en los que se mueven del impulso. Pero las atracciones y los impulsos deben

mirarse como cosas estrínsecas á la materia. Luego, &c.

Pero así la atraccion, como el impulso, se sabe, que son proporcionales á las masas de los cuerpos luego debemos inferir que *la fuerza de inercia en los cuerpos, ya en quietud, ya en movimiento, es proporcional á sus masas.*

LECCION VII.

Diferencia de los cuerpos segun las combinaciones de sus partículas.

La propiedad que tienen los cuerpos de recobrar su estado primitivo despues de la compresion, se llama *elasticidad*, que es perfecta cuando el cuerpo se restituye exactamente al primer estado ó lugar, y con la misma prontitud con que fué comprimido. No conocemos cuerpo perfectamente elástico, y solo le atribuimos esta perfeccion á la luz; pero ignoramos si efectivamente se restituye en el mismo tiempo en que fué comprimida y aun diré mas; ignoramos si se comprime y si es elástica. Confieso que este pensamiento es contra la opinion general de los físicos que atribuyen á la luz la elasticidad mas perfecta, y yo mismo no me atrevo á negársela absolutamente; pero cuando trate del choque de este fluído sobre los cuerpos, manifestaré la razon en que se funda mi sospecha, pues por tal la tengo, y no opino que lo contrario sea un error; pero si que no es una verdad demostrada.

Si un cuerpo elástico *b* (Lám, 1, fig. 13,) compuesto de fibras paralelas a su base se dobla, quedarán dichas fibras mas separadas en la superficie *d*, que en *a*; pero si esta separacion es corta, las fibras pueden atraerse y mucho mas si suponemos que conservan algunos contactos por otras sustancias. En este caso, luego que falta la fuerza que las violenta, volverán á reunirse cómo estaban, pues quedará por si sola la fuerza atractiva, y recuperará el cuerpo su antiguo estado. Si se dobla mucho quedarán tan separadas las fibras, que no habrá atraccion sensible, y el cuerpo se quebrará. Un globo *m* lo podemos considerar como un conjunto de varas dobladas segun representan las líneas, y luego que falta la compresion tomará su figura por la misma causa espuesta. Hemos representado el cuerpo compuesto de fibras paralelas para mayor claridad en la esplicacion; mas es facil de comprehender que las fibras verticales ó de cualquiera otra situacion pueden considerarse como otras tantas varitas cuyas fibras paralelas producirán el mismo efecto, y aun cuando no sean paralelas, deben esperimentar separacion en la superficie convexa, y por la fuerza atractiva se restablecerán.

Siempre que las partículas conserven una proximidad suficiente para que se ejerza la atraccion corpuscular, y que sus tamaños proporcionen algunos contactos; el cuerpos es elástico: pero si se disponen de modo que los nuevos contactos sean tan notables, que por la misma ley de atraccion hagan que las partículas permanezcan en su nueva colocacion, el cuerpo no se restablecerá. Del tamaño y colocacion de las partículas depende todo fenómeno.

De ahí es que el hierro se constituye acero, adquiriendo mucha mayor elasticidad, caldeándolo sucesivamente y enfriándolo de golpe; pues las partí-

culas con el calor se pusieron en movimiento y el frio repentino las hizo quedar fijas en mayores porciones, quedando las partículas sólidas mucho mas grandes; y cuando se le quiere quitar la elasticidad, se usa del *recocido* que consiste en calentar moderadamente el acero, y dejarlo enfriar al aire; por que entónces las partículas se disuelven algo, y dejan de ser tan grandes.*

Beudant opina que en muchos cuerpos elásticos, no se causa compresion alguna sino que las partículas resvalan por decirlo así una sobre otra y no por esto dejan de ocupar igual volúmen. Sé funda en que una lámina delgada de plomo si se violenta ligeramente, vuelve á su estado luego que se abandona, y no es probable que esta ligera violencia hubiera hecho separar las partículas, sino mas bien *desalojar* ó moverlas unas sobre otras. Cuando los nuevos contactos son muy notables, el cuerpo no se restablece á su figura, segun la teoría del mismo autor, de la cual infiere, que cuando se dice *en cuerpo es elástico, luego es compresible*, el discurso es inexacto y sin embargo es muy comun.

Sea cual fuere la probabilidad de esta opinion: me es dificil creer que una pequeña fuerza sea quien cause este *desalojo* (así le llama Beudant,) y no aproxime las partículas dandose una verdadera compresion, aunque no muy notable. Ademas, si las partículas permanecen todas en contacto sin separacion alguna, yo juzgo que conservarán esta situacion; pues la fuerza atractiva de contacto és infinitamente mayor que otra á pequeña distancia, y solo cuando hay poco ó ningun contacto y muchas atracciones corpusculares, puede vereficarse el efecto de vencer una fuerza á otra, y restablecerse el cuerpo.

* Véase á Brisson.

Considerémos la elasticidad en los efectos de la torcion de las cuerdas ó de otro cuerpo sea el que fuere, y representémos por el cilindro *a n c d* (Lam. 1, fig 14,) una cuerda que vamos á torcer. Lá série de puntos 1, 2, 3, irán á los lugares correspondientes 1, 2, 3, luego que la cuerda se tuerza y el punto *a* coincida con *c*; haran pues, en virtud de la elasticidad un esfuerzo contínuo para volver á sus lugares primitivos y mientras mayor sea la torcion, mayor es la fuerza de la elasticidad. Para determinar las diversas torciones se usa del aparato que representa la figura 15 que consiste en un hilo metálico fijo en el punto *a*, y en el otro estremo tiene una varilla que demuestra en el círculo graduado *b d*, lo que se ha torcido dicho hilo, y el ángulo formado por la varilla en su primero y segundo estado, se llama *ángulo de torcion*, y el aparato *balanza de torcion*, por que estan contrapuestas ó balanceadas, la fuerza esterior que se emplea para mover el índice, y la resistencia en la torcion. Esta balanza sirve para apreciar las fuerzas infinitamente pequeñas, y se le debe á Coulomb.

Se infiére claramente que mientras mas corta es una cuerda, mas resistencia hace con un mismo ángulo de torcion, pues como demuestra la figura 14, aunque los espacios *a b* y *a b* en dos cuerdas sean iguales, y estos indiquen el movimiento del punto *a* en una y otra para que un índice que se le uniera señalará igual número de grados; sin embargo el ángulo *a n b* es menor que *a r b*; y por consiguiente las partículas están ménos violentas en el primero que en el segundo caso. Lo mismo debe decirse del grueso de la cuerda; habiendo mayor número de partículas que violentar se necesita mayor fuerza.

Segun las observaciones de Biot, la fuerza de torcion está en razon inversa de la longitud de la cuerda, y en razon directa de la cuarta potencia de su grueso. (Traité de Physique tóm 1, pág. 517,) Por esta causa conviene que sea muy largo el hilo de la balanza, pues resiste ménos á ser torcido y puede indicar una fuerza muy pequeña, y ademas se observa que mientras mas largo es el hilo, puede torcerse mayor número de grados sin alterar su elasticidad. Se observa igualmente que la tirantez del hilo, se opone á su fuerza de torcion, pues colocando diversos pesos en el estremo que mueve el índice, observó Coulomb que se iban minorando las osciloclones, y por consiguiente la fuerza de torcion en el hilo.

Gravesande inventó el aparato que representa la figura 16 de la lámina 1, para conocer la fuerza elástica de un hilo tirante, y que al mismo tiempo esperimenta una presion perpendicular en el centro. La línea *m v* es dicho hilo que pasa por un agujero de la lámina *n* y recibe distintos grados de tirantez por los tornillos que lo sostienen, ó bien por un peso que Gravesande pone en un estremo del hilo, haciéndolo pasar por encima de unos prismas triangulares que podían colocarse á diversas distancias, para dar mayor ó menor longitud al hilo. El platillo de la balanza, la lámina *n*, y la cadenita que la sostiene están perfectamente equilibradas por el peso, y así no ejercen presion alguna sobre el hilo que va á probarse, y toda se debe á los distintos pesos que se ponen en el platillo. Luego que se oprime el hilo, bajando la lámina mueve el índice, y sabiendose el valor de la circunferencia de la polea *r* y el de cada grado, se deduce la longitud de la línea *a b* (fig. 17,) que indica la depresion de la línea *c d*, pues siendo polea y el circulo graduado concéntricos: á cada

grado que corra el índice corresponde otro en el movimiento de la polea, y baja otro tanto la lámina, y el hilo que se está esperimentando. Gravesande puso tambien en lugar del circulo graduado y del índice, una tablita graduada, y puesta detrás de la lámina y del hilo, para que observándose la division á que correspondía éste cuando estaba orizontal, y la que demarcaba despues de oprimido; se supiera exactamente su depresion. Me parace este método mas exacto, pero son ménos sensibles los efectos y aunque Biot le atribuye á Gravesande, la construccion del aparato tal como se observa en la figura, verdaderamente en la obra de éste físico titulada *Phisices elementa matematica*, no se halla representado el círculo, ni el índice y sin duda lo propuso Gravesande en alguna otra obra que no he visto. La planchita de metal se sostiene por una cadena y no por un cordon, porque éste podriá dar de sí, de donde resultaría bajar la lámina un corto espacio sin mover la polea, y por consiguiente sin mover el índice. Gravesande obtuvo los resultados siguientes.

1°. Dado un mismo peso, las fibras de igual longitud y grueso, reciben una esteusion igual, y se estiran ó aumentan proporcionalmente a este peso.

2°. Dada una misma estension y grueso, las estensiones producidas serán entre sí como las longitudes de las cuerdas.

3°. Dos cuerdas ó hilos de una misma especie, pero de diferente grueso necesitan para conseguir un mismo grado de estension, unos pesos que sean entre sí como los cuadrados de los diametros de las cuerdas ó hilos metálicos.

4°. Dos cuerdas iguales con diversa tension, hacen diversas vibraciones y los cuadrados de los tiempos de estas, siguen la razon inversa de los pesos empleados en doblarlas igualmente.

Un cuerpo tiene mayor ó menor dureza, segun que sus partículas se tocan mas ó ménos; pues siendo la atraccion proporcional á los contactos cuanto mayores fueren éstos, otro tanto se aumentará la fuerza que retiene las partículas, sin dejarlas desprender. Por el contrario, un cuerpo será blando siempre que sus particulas se toquen en pocos puntos.

Los cuerpos muy sólidos por lo regular tienen pocos poros, y esto se deduce muy bien de la doctrina anterior, pero sin embargo no es una observacion universal, pues algunas causas suelen hacer que muchos cuerpos muy blandos, como la cera y la greda, sean ménos porosos que otros mucho mas dúros. Esto proviene de que la cera, aunque tiene poco contacto en sus particulas, estas deben ser mayores que las de otros cuerpos, segun los órdenes newtonianos que espusimos hablando de la porosidad, y de ahí resulta que en un espacio dado, por exemplo, una pulgada cúbica, tenemos poco vacio, aun que los contactos no sean muy notables.

Cuando las partículas se desvian notablemente, constituyen un cuerpo muy movible, que no puede sostenerse por sí mismo, á ménos que no se dé un equilíbrio entre dichas particulas, y á estos cuerpos les llamamos fluídos, como el aire. Si los fluídos no tienen las partículas muy separadas de modo que constituyen una masa visible, y ponen su superficie á nivel, ó paralela al orizonte, se llaman liquidos, de modo que todo líquido es fluido, pero no todo fluído es líquido, pues el aire y otras semejantes no son visibles ni se anivelan.

Estos tres estados de los cuerpos provienen de la relacion entre las fuerzas atractivas de sus partículas, la presion de la atmósfera y la fuerza espansiva del calórico; que es un fluído muy penetrante, que introduciéndose en los poros de un cuerpo, trata de

separar sus partículas, que al mismo tiempo tienen una tendencia á reunirse por la fuerza atractiva y la presion esterior del aire que las impele hácia el centro del cuerpo. Cuando en esta especie de lucha el calórico vence á la atraccion de las moléculas, y al peso del aire, el cuerpo es fluído, pues se desvian sus partes y se dividen hasta ser invisibles: si están en equilíbrio estas fuerzas opuestas: ó á lo ménos la del calórico no excede considerablemente á las otras, resulta un liquído: pero si la atraccion y el peso de la atmósfera vence al calórico, se forma un sólido ó cuerpo duro. En una palabra las relaciones entre las fuerzas espansiva y compresiva, determinan los grados de dureza ó de fluídez de los cuerpos.

En comprobacion de estas doctrinas, puso Lavoisier en la máquina neumática un pomo *ab*, lam. 3, fig. 9, que tenia de 12 á 15 líneas de diámetro, y cerca de 12 pulgadas de altura, perfectamente lleno de un líquido muy volátil, llamado *eter sulfurico*, y cubrió la boca de dicho pomo con una bejiga humedecida y atada fuertemente, de modo que el líquido no pudiera escaparse. Habiendo estraido el aire del recipiente *c d*, el liquido hacia gran esfuerzo por salir, y levantaba la vejiga, poniendola en forma de boveda segun representa la figura. Entónces abrío un agujero en esta boveda bajando el hastil, ó alambre grueso *n*, que atraviesa una serie de rodajas de cuero contenidas en la caja de bronce *r s*, y que estan bien impregnadas de aceite para que se unan perfectamente al hastil, que al mismo tiempo se puede hacer bajar, y subir con mucha facilidad. Luego que horadó la bejiga, empezó á salir el éter con mucha fuerza, haciéndose casi invisible por haberse reducido á un cuerpo semejante al aire. Durante esta operacion, un termómetro pequeño *t* que estaba introducido en el líquido, bajó algunos grados, y en el

barómetro de prueba, se esperimentó un ascenso de 8 á 10 pulgadas en invierno y de 20 á 25 en verano.

El esperimento que acabamos de esponer, manifiesta que suprimido el peso del aire, las fuerzas atractivas, del éter, no pueden contrarrestar á la espansiva del calórico, y éste las separa constituyendo un fluído semejante al aire. El descenso del termómetro indica muy bien que durante la operacion se desprendia una gran cantidad de calórico para formar el nuevo fluido, que gravitando sobre el barómetro producía su ascenso.

En los sólidos se observa cierta tenacidad ó resistencia á no quebrarse, y á ésta propiedad se opone la fuerza elástica, pues comprimida una parte del cuerpo, hace un esfuerzo contra las otras que están en quietud, y las separa quebrando toda la masa. Por esto vemos que los cuerpos muy elásticos, como el marfil saltan en pedazos, por un golpe que en otra sustancia no hubiera causado este efecto. Se infiere muy bien la causa por que cuando el cuerpo es muy notable no se rompe, pues entónces las partes comprimidas tienen que dividir una gran masa. Por la misma razon, si una pieza de mármol recibe un golpe en el centro no se parte como si se le diera en un angulo. El cristal y otras sustancias semejantes, se quiebran al mas ligero golpe, por que siendo flexibles, se dividen luego que las partes comprimidas ejercen su accion sobre las otras.

Espondrémos con este motivo el efecto admirable de la lagrima batábica, que se forma dejando caer en el agua cierta cantidad de vidrio derretido, que enfriándose al pronto, queda en la figura de una redoma pequeña, terminada por un cuello muy estrecho que forma como un tubo capilar en su punta. Por ser esta figura semejante á la que se observa en

las lágrimas, se puso este nombre aunqúe verdaderamente al capricho. Dándola un golpe de martillo en la parte mas gruesa no se parte y si se le quiebra la punta aunque el resto no reciba golpe alguno, toda la pieza queda hecha polvo muy fino. Para comprender la razon de esté efecto, observemos que en el momento de caer el vidrio derretido en el agua se enfria la parte esterior quedando sólido, al paso que lo interior aun está derretido, y por consiguiente cuando llega á enfriarse y pretende ocupar menor espacio como sucede en toda condensacion, se encuentra con ciertas adherencias á la parte esterior que ya está consolidada y forma una bóveda. De aquí resulta que no pudiendo desprenderse enteramente y siendo preciso que se condense, forma unas telas ó láminas entrelazadas con cierto grado de violencia ó tirantez. Partiendo la estremidad se vén libres algunas de estas laminas, y restableciéndose con fuerza rompen las inmediatas, y así sucesivamente por una reaccion producida por la elasticidad, todo el vidrio queda deshecho, pues los esfuerzos se egercen de adentro á fuera, y no es lo mismo que cuando el martillo daba un golpe esterior como sobre una bóveda. De un modo semejante esplica Thenard, los efectos del acero.

La humedad haciendo mas flexibles los cuerpos, aumenta su resistencia á quebrarse, y el mismo efecto produce en algunos cuerpos el calórico, pues aumenta su flexibilidad como los metales pero otros como la arcilla, se hacen mas quebradizos por el calórico. Esto proviene de que evaporándose los líquidos intermedios, las partes sólidas se reunen por la fuerza atractiva, y adquieren firmeza, pero en otros cuerpos, ó no hay fluídos que evaporar y el calórico se emplea solo en la separacion de las partes, ó estos fluidos son muy fijos y resisten considerablemente

la evaporacion. De aqui resulta que un mismo calórico derrite la cera y endurece el barro.

Conviene advertir que un cuerpo puede ser duro y quebradizo; pues aunque paracen idéas opuestas, lo primero depende de la coherencia de las particulas, y lo segundo de la inflexibilidad de la masa que no puede doblarse sin partirse. Hay cuerpos que se parten con su mismo peso, y esto depende seguramente de que no teniendo por decirlo asi articulaciones, forman una masa total y unos esfuerzos tan reunidos, que vecen la coherencia de las partículas y se dividen en aquella parte en que es superada por el peso de las otras; y asi un cilindro de cristal muy largo sostenido por sus estremidades, se partirá por aquel punto en que la coherencia no puede reunir el peso de las partes del cilindro que se hallan desde alli hasta los puntos en que descansa. Por esta razon nunca se observa que un cuerpo se parte cerca de estos puntos de apoyo, sino siempre á alguña distancia, y por lo regular en el centro.

Puede verse á Beudant, que trata esta materia con mucha exactitud; y de donde he sacado las tablas siguientes.

TABLA *de la resistencia de diversas maderas de cinco metros de longitud y un decimetro en cuadro, asentadas libre y orizonlalmente por sus estremidades.*

	KILOG.
Ciruelo, ha sufrido antes de romperse	1447
Olmo	1077
Tejo	1037
Carpe	1034
Haya	1032
Encina	1026
Avellano	1008

	KILOG.
Manzano	976
Castaño	957
Castaño enjerto	931
Pino	918
Nogal	900
Peral	883
Alamo blanco	853
Sauce	850
Tilo	750
Chopo de Italia	586

TABLA *de resistencias que presentan los hilos metálicos de 2 milímetros diametro.*

Hierro, sufre antes de romperse	279,3 256,659 195,9	Sickingen
Cobre	175,17 1[illegible]7,399	Sickengen.
Platina	124,690	Guyton-Morvamp.
Plata	85,062	Sickengen.
Oro	68,216	Sickengen.
Estaño	24,2	Muschembroek.
Zinc	12,72	Muschembroek.
Plomo	9,76	

TABLA *sacada del curso de física de Muschembroek, en la cual se manifiesta el peso empleado para romper los metales siguientes, siendo de un mismo grueso.*

Metales.	Peso empleado para romperlos	Gravedad especifica
Oro el mas depurado	578 lb	19,238
Plata de copela	1556	11,091
Cobre amarillo de Berberia	63[illegible]	8,1818
Cobre amarillo de Japon	573	8,7267
Hierro de Alemánia	1930	7,8076
Estáño de Inglaterra	150	7,295
Otra especie de estaño del mismo paraje	188	
Estaño negro*	110	7,3218
Estaño de Banca	104	7,2165
Estaño de Málaga	91	6,1256
Plomo de Inglaterra	25.	11,3333
Regulo de antimonio	30	[illegible], 500
Zinc de Goslar	76*a*33	7, 215
Bismuto	85*a*92	9, 850

La resistencia de las cuerdas aunque es proporcional al numero de sus hilos, sin embargo debe tenerse presente en la práctica, que mientras mas gruesa es la cuerda mas dificil és que todos tiren por igual, y es preciso hacer algun rebajo en el cómputo de la resistencia; pero cual sea este, no es facil determínarlo. Podemos deducirlo aproximadamente sabiendo la resistencia de una cuerda de poco diámetro, y de la misma naturaleza de la que pretendemos examinar. Dicha cuerda pequeña la considerarémos como centro de la grande, y sabiendo cuanto excede el diametro de esta al de la pequeña, dirémos que la tirantez de los hilos está en razon de las capas circulares, en que podemos considerar dividida la cuerda, y que dichas capas son entre sí como los quadrados de los diametro; y formarémos una progresion decrecíente ó én razon inversa de estos cuadrados, para inferir lo que pierde en cada anillo ó capa circular, y por con-

* Borlace, Nat. Hist. Cornwall, pag. 177, 181, 182.

siguiente en todo el grueso. Convengámos sin embargo en que es preciso suponerle á la cuerda una resistencia menor que la que aparezca por este calculo; pues hay un conjunto de circunstancias que solo pueden apreciarse en el mismo caso que se presente. De aquí se infiere que la resistencia de las cuerdas no estan exactamente en razon de los cuadrados de sus diámetros; aunque casi forman unos cilindros. Mientras mas se tuerce una cuerda, pierde mas de su resistencia, y por eso conviene que solo se tuerzan hasta perder $\frac{1}{8}$, ó cuando mas $\frac{1}{4}$ de su longitud. Muschembroek, esperimentó lo siguiente.

1º Una cuerda de cañamo torcida hasta perder $\frac{1}{3}$ de su longitud, reventó con el peso de 4321 lb.

2º Otra igual, torcida hasta perder $\frac{1}{4}$, necesitó para romperse 5187 lb.

3º Tres cuerdas iguales; habiendo torcido la primera hasta perder $\frac{1}{3}$ se rompio con el peso de 4098 lb. la segunda minorada $\frac{1}{4}$, necesitó 4850, la tercera minorada $\frac{1}{5}$, 6205 lb. Lo que prueba que la menor torçion dá mayor resistencia. Reaumur ha hecho esperimentos, muy semejantes, pues habiendo observado el peso que sostenia un hilo de bretaña, reunió cuatro semejantes, y no pudieron sostener un peso cuadruplo del primero, como pareciá regular. Hizo despues esperimentos en cuerdas mayores, y siempre tubo unos mismos resultados, sin duda muy confórmes á la razon, pues torciendo, los hilos adquieren una tirantez que ayuda á la fuerza que se emplea para reventarlos, y como se hallan tanto mas tirantes cuanto mas torcidos, es claro que la torcedura es contraria á su resistencia. Conviene pues torcer las cuerdas, pero hasta cierto grado.

4º Una cuerda de tres pulgadas de diámetro hecha de cañamo cardado, reventó con el peso de 5754 libras.

Otra igual pero de cáñamo ménos cardado, necesitó el peso de 6338 libras.

5º Una cuerda sin embrear sostubo 4633 libras, y otra igual, pero embreada, reventó con el peso de 3316 libras. La brea impide que los hilos tiren con igualdad, pues forman una costra en lo esterior, que es ménos flexible, y ademas debe considerarse que muchos se queman al tiempo de embrear la cuerda.

6º Una cuerda que estando seca sostubo 5409 libras, luego que se humedeció no pudo sostener 4000. La humedad hinchando la cuerda pone mas tirantes los hilos, y ayuda á reventarlos.

7º Cuando una cuerda se dobla, como para embolver un cilindro ó acomodarse en una garrucha, resiste ménos que cuando se fija en un punto y se tira perpendicularmente por el estremo opuesto. Una cuerda que sostenia 3664 libras cuando se dobló sostubo solamente 1928. Otra que sostenía 5900, doblada sostubo 4000. De aquí se infiere que mientras mayor sea el diámetro del cilindro ó polea en que se embuelve la cuerda, tanto mas resiste, por que se dobla ménos. Los hilos de una cuerda doblada no tiran por igual, pues formando dicha cuerda un arco, los que se hallan en la superficie convexa, sufren mayor tirantez que los que están en la parte cóncava, como sucede en una vara que se dobla, pues siempre vemos que se quiebra por la parte esterior ó convexa.

LECCION VIII.

Del movimiento en comun ó mecánica universal.

La ciencia que trata del movimiento se llama *mecánica*, baxo cuya voz muchos no entienden, sino aquella ciencia, que se versa acerca de los movimientos que se hacen por medio de máquinas. Pero los físicos modernos dan una nocion mas estensa á este nombre. Por mecánica, pues, entienden la ciencia del movimiento, á saber, la que esplica su naturaleza, propiedades y leyes, y enseña el modo de computarlo.

La dividirémos siguiendo á los mismos físicos, en mecánica *universal* y *particular*. La primera trata del movimiento en comun, sus especies, propiedades y leyes. La segunda lo considera contraído á ciertas clases de cuerpos, y se divide en *Dinámica* que trata de movimientos de los sólidos, *Hydrodinámica* del movimiento de los fluídos. *Estática* que trata del equilíbrio por el cual los cuerpos se detienen y descansan. Esta se divide en *Geostática*, que trata del equilíbrio de los liquidos, é *Hydráulica*, que trata del movimiento de los líquidos, por faltarles el equilíbrio.

Diversas clases de movimiento.

El movimiento puede considerarse en orden al lugar que muda el cuerpo, á la fuerza que lo produce, á la relacion de los espacios corridos en tiempos iguales, y á la direccion.

Se llama *lugar absoluto* el espacio que ocupa un cuerpo, y *relativo* el conjunto de relaciones, ó la correspondencia del cuerpo con los que le rodean y por eso se distíngue el movimiento tambien en *absoluto* y *relativo*. Un navegante puede estar en quietud relativa respecto de los objetos que se hallan en la misma embarcacion, y en movimiento absoluto, respecto de los espacios del mar que va ocupando, y así es claro que *puede haber movimiento absoluto sin relativo y al contrario.*

En órden á la fuerza que produce el movimiento, la dividiremos en *simple* cuando la potencia es una sola ó muchas, que operan en una misma direccion, y *compuesta* que es el resultado de dos ó mas fuerzas, obrando con distintas direcciones. Cuando un cuerpo corre espacios iguales en tiempos iguales v. g. una vara en cada segundo, el movimiento se dice *uniforme;* si los espacios se aumenta sin aumentarse los tiempos se dice *acelerado*, v. g. si en el primer minuto corre cuatro varas y en el segundo ocho. Si estas aceleraciones son iguales esto es si se aumenta tanto el segundo espacio respecto del primero como en el tercero respecto del segundo, &c. se llama *uniformemente acelerado.* En sentido opuesto, se dice movimiento *retardado* cuando van siendo menores los espacios corridos en tiempos iguales, y *uniformemente retardado* si esta diminucion es igual.

En órden á la direccion dividimos el movimiento 1º en *recto circular*, *obliquo horizontal perpendicular;* segun diversas líneas: 2º en *reflejo y refracto;* llamamos *reflejo* al de un cuerpo que chocando en otro vuelve atrás por una línea proporcionada á la de incidencia y aquella llamamos *línea de reflexion. Refracto*, llamamos el movimiento de un cuerpo que varía de direccion, por pasar de un medio denso á

otro mas raro, y al contrario. Mas adelante hablarémos de la reflexion y refraccion.

Dividimos tambien el movimiento en *espansivo*, que se ejerce del centro á la circunferencia; cuando forma ólas, *undulatrio; compresivo*, cuando se ejerce de la circunferencia al centro, reuniéndo las partes; *oscilatorio* cuando lo consideramos en los péndulos, que van como á pasar á dos parages en tiempos iguales; *perturbado*, cuando se mueven indistintamente las partículas del cuerpo, como los granos de tierra en una agua turbia: *vibratorio*, cuando no solo se mueve el cuerpo, sino que en si mismas tiemblan las partículas, como en el fuego.

Velocidad y cantidad del movimiento.

Velocidad, es la relacion del espacio corrido con el tiempo en que se corre, y así para determinar la velocidad de un cuerpo es preciso atender al espacio y al tiempo, siendo mayor la de aquel que corra las mismas veinte varas en 4 minutos.

Deducirémos por tanto la velocidad de un móvil dividiendo el espacio por el tiempo. Luego.

1°. *Supuesto un mismo tiempo las velocidades son como los espacios.*

2°. *Supuesto un mismo espacio, las velocidades están en razon inversa de los tiempos.*

3°. *Si los espacios y los tiempos son iguales tambien lo son las velocidades.*

4°. *Cuando los espacios y los tiempos son desiguales*, las velocidades son como los cocientes de los espacios divididos por los tiempos que les corresponden.

Pues sabemos que las fracciones están entre si como los cocientes de sus numeradores, divididos

por sus denominadores; y como podemos considerar los tiempos y los espacios formando fracciones, pues que hemos de dividir el espacio por el tiempo, se deduce que las velocidades estaran en razon de dichas cocientes. De modo que si un cuerpo corre veinte varas en 2 minutos, y otro quince en 3, sus velocidades estarán de 10:5 por que $\frac{20}{2}$ 10 y $\frac{15}{3}=5$.

El movimiento se dice *uniformemente acelerado*, cuando adquiere en cada momento iguales grados de velocidad, conservando los anteriores. La fuerza que causa este aumento de velocidad, se llama *aceleratriz*. Lo contrario debe entenderse del movimiento *retardado*, que es cuando un cuerpo va perdiendo en cada momento un grado de velocidad. Estableceremos las siguientes proposiciones sacadas de Seguy.

Primera: en el movimiento uniformemente acelerado, las velocidades crecen en razon de los momentos en que opera la fuerza aceleratriz. Porque si dos cuerpos corren con movimiento acelerado uniformemente; V : v :: T : t.

El movimiento uniformemente acelerado puede representarse por un triángulo rectángulo, cuya altura dividida en partes iguales indique los momentos de tiempo, y las líneas pararelas á la base, tiradas desde estos puntos de la altura, indiquen las velocidades existentes en cada momento.

Porque las velocidades son como los tiempos. Mas las paralelas á la base son entre sí como los puntos de la altura á que corresponden. Luego &c.

Se infiere por tanto, que en el movimiento uniformemente acelerado, el espacio corrido desde el principio puede representarse por la área del triangulo, cuya altura indica el tiempo, y su base la velocidad sucesivamente adquirida hasta el último momento.

Segunda: *en el movimiento uniformemente acelerado, los espacios corridos en tiempos iguales, y sucesivos, son como los numeros impares*: 1, 3, 5, 7, 9, 11, &c.

Sea el triangulo *b a c*, (lám. 1, fig. 18,) cuya altura *a b* se divida en partes iguales por líneas paralelas á la base. Desde los puntos, *i*, *l*, *n*, tirense las perpendiculares á la base *i r*, *l m*, *no*: desde los puntos *r m*, *o*, tirense parelelas a la línea *a c*.

El espacio corrido en el primer momento se representa por el triángulo *a e n*; el espacio corrido en los dos primeros momentos lo demuestra el triángulo *f a l*, y por tanto el espacio que corresponde al segundo momento lo indica el trapecio *e f l n*. El espacio corrido en los tres momentos succesivos se representan por el triángulo *a g i*, y por consiguiente el espacio que corresponde al tercer momento, lo señala el espacio *f g i l* &c. Es así que el triángulo *a e n* es al trapecio *e f l n* como 1 : 3, y este trapecio es el otro *f g i l* como 2 : 5 &c, como está claro al ver la figura; luego los espacios corridos en tiempos iguales son como los numeros, 1, 3, 5, 7, &c.

Tercera: *en el movimiento uniformemente acelerado, los espacios corridos en diversos tiempos son como los cuadrados de los tiempos, ó como los cuadrados de las velocidades.*

De manera que $E : e :: T^2 : t^2 :: V^2 v^2$

Los espacios corridos en tiempos iguales con movimiento uniformemente acelerado, son como los números 1, 3, 5, 7, &c. Pero la adicion succesiva de estos números dá la série natural de cuadrados 1, 4, 9, &c.; porque $1 = 1$, $1 + 3 = 4$, $1 + 3 + 5 = 9$. Luego &c.

El espacio corrido desde el principio por un movimiento acelerado se representa por el área de un triángulo, cuya altura dividida en partes iguales, señalará los momentos subsecuentes é iguales. Las bases que correspondan á estas divisiones, espresaran las velocidades comparadas en diversos tiempos: es asi que estos triangulos siendo semejantes están entre si como los cuadrados de las alturas, y tambien como los de las bases. Luego los espacios &c.

Velocidad *relativa* es la que tiene un cuerpo comparado con otro, y distinguirémos de esta, siguiendo á Brisson, la *respectiva* que se considera con respecto al espacio que separa dos cuerpos, ya sea que uno de ellos lo corra permaneciendo el otro en quietud, ya sea que cada una corra una parte del espacio hasta juntarse; como por exemplo, si el cuerpo A dista diez varas del cuerpo B y se une á él en dos minutos, por haber corrido las diez varas, ó solamente ocho, corriendo el cuero B las dos restantes, y saliéndole por decirlo asi al encuentro.*

4ª *Si dos cuerpos se mueven hácia una misma parte, por lineas que formen ángulo, la velocidad relativa de ambos debe medirse por el seno del mismo ángulo,* esto es, se ha de tirar una línea perpendicular desde un móvil sobre la linea del movimiento del otro, la cual será la medida de su velocidad relativa.

Por tanto si dos cuerpos *n d*, (Lam. 1, fig. 19,) corren en un mismo tiempo por las lineas *m n*, *m d*, las velocidades relativas estarán en rason de las líneas *r a*, *b s*.

Es un sofisma muy antiguo el que se ha puesto para probar que no puede haber un movimiento mas veloz que otro, diciendo que cada móvil anda un punto de espacio, en un punto de tiempo; luego al fin de igual número de instantes habrán andado

* Brisson. Princ. de Fisic. tóm. 1. pág. 129.

ambos igual número de puntos, y por tanto una águila correrá lo mismo que una tortuga. La idéa de tiempo es vária, y el espacio es infinitamente divisible, de manera que los instantes considerados en el movimiento del águila, no son de la misma duracion que los que se consideran respecto de la tortuga, y en caso de considerarlos iguales, el espacio corrido por ambos cuerpos, no es igual en cada instánte; pues aunque los matemáticos han considerado el punto indivisible, fisicamente no lo es; por tanto no puede decirse que el águila y la tortuga corren en un instante indivisible, ni tampoco de igual estension.

Cantidad de movimiento, es la porcion de él, que se halla en un cuerpo ó mejor dicho, su consideracion respecto del número de partes que se hallan en el cuerpo; de aquí inferirémos que para determinar la cantidad del movimiento, se multiplica la masa por la velocidad; pues consideramos ésta en cada una de las partículas de que consta el cuerpo, y su reunion le llamamos *cantidad del movimiento*, que está *en razon compuesta de la masa y de su velocidad.*

Se infiere igualmente, que *se aumenta la cantidad del movimiento, aumentada la masa del cuerpo, ó la velocidad.*

De la fuerza de los cuerpos en movimiento.

Los fisicos antiguos median la fuerza del movimiento, multiplicando la masa por la velocidad; opinion que siguen en el dia la mayor parte de nuestros modernos, pero el gran Leibnitz, demostró que debe medirse multiplicando la masa no por la simple velocidad, sino por el cuadrado de élla. Le siguieron Muschembroek, Wolfio, Bernoully, Gravesande,

y casi todos los filósofos alemanes; pero los ingleses y franceses, han sostenido la doctrina antigua, sin embargo de que entre estos se hizo célebre la marquesa de Chatelet, defendiendo el cómputo leibnitziano, contra Mairan y otros académicos.

De aquí provino la gran disputa de las *fuerzas vivas*. Llámanse *fuerzas vivas*, las que tiene un cuerpo en movimiento; y *muertas* las de un cuerpo en quietud, que se llaman tambien *presiones*; por que consisten en los esfuerzos que hace un cuerpo oprimiendo á otro para libertarse de él. Todos convienen en que las *fuerzas muertas*, se midan multiplicando por la simple vélocidad.

Debe notarse que para producir velocidad dupla, se necesita emplear fuerzas cuadruplas, pues Almeyda* hizo caer un péndulo comunicándole por medio de un peso velocidad como 2, y no bastaba duplicar el peso impelente, para hacer correr al péndulo doble espacio en el mismo tiempo, sino que era preciso emplear un peso ó fuerza como 4, para que se duplicara la velocidad, duplicando el espacio corrido.

La observacion anterior, y los esperimentos que espondré seguidamente, me hacen admitir la doctrina Leibnitziana, pues creo que la *fuerza de un cuerpo en movimiento se aumenta en razon del cuadro de su velocidad.*

Esperimento 1º Dos globos, cuyas velocidades son como 1 á 2, cayendo sobre una materia blanda, forman cavidades como uno á cuatro: luego sus fuerzas se hallan en razon de los cuadrados de la velocidad.

Esperimento 2º Dos péndulos de igual longitud y masa, cayendo de las alturas 1 y 4 al llegar á ponerse perpendiculares, tienen velocidades como 1:

* Almeyda, Fisic. Esp. tóm. 1, pág. 128.

2, sin embargo suben por la parte contraria á las alturas 1 y 4.

El ascenso es efecto de las fuerzas adquiridas, pero este es proporcional á los cuadrados de 1 y 2, esto es á 1 y 4, luego la fuerza debe computarse por el cuadrado de la velocidad.

Esperimento 3º Haciendo descender la barra de hierro *d* (Lám. 1, fig. 20,) sobre una caja llena de barro *m*, con diferentes velocidades, que se computan por la regla graduada *p q*, se observa que el cuerpo *r*, enterrándose en el barro, forma una cavidad como 4 cuando la velocidad es 2, y como 9 cuando es 3. Pero las cavidades formadas indican las fuerzas adquiridas. Luego, &c.

Confirman los leibnitzianos mucho mas su doctrina con este mismo esperimento, por que aumentada la masa del cuerpo *r*, la cavidad es proporcional al aumento si es una misma la velocidad, pero si ésta es la aumentada, crecen los efectos segun los cuadrados. Luego no es indiferente como creían los antiguos para aumentar la fuerza aumentar la masa, ó la velocidad.*

Esperimento 4º Dos cuerpos de igual masa y figura descendiendo uno en el tiempo de un segundo, y el otro en dos segundos corre el primero 15 pies, y el otro 60, cuyos espacios están en razon de uno á cuatro; pero la fuerza es proporcional á estos espacios corridos; luego sigue la razon de los cuadrados, pues el cuadrado de dos es cuatro.

Esperimento 5º " El cuerpo *e* (Lám. 1, fig. 21,) " dice Wolfio, cayendo por la linea *a b*, adquiere " una fuerza para subir por *a b* y el cuerpo *f* cayen- " do por *c d*, adquiere una fuerza para subir á la " misma altura *c d*; estan por tanto las fuerzas con

* Veanse los esperimentos de Almeyda, Fis. Esp. tóm. 1, pág. 13.

" que se elevan los cuerpos e y f por las alturas a b,
" y c d, en razon compuesta de las mismas alturas
" y de las masas e y f, porque se consumen todas
" las fuerzas en elevar los cuerpos á estas alturas.
" Pero a b y c d están en razon duplicada de las
" velocidades adquiridas en el descenso; luego las
" fuerzas e f están en razon compuesta, simple de
" las masas, y duplicada de las velocidades. Mas
" las fuerzas e f son vivas como que operan no solo
" por presion, sino por ímpetu adquirido, y por tanto
" to unidas con el movimiento local. Luego las
" fuerzas vivas están en razon compuesta, simple de
" la masa y duplicada de las velocidades."*

Esperimento 6º Supóngase el cuerpo *a* (Lám. 1, fig. 22,) impelido por dos fuerzas, una en la línea *a m* que consta de cuatro pies, y otra en la línea *a o* de tres: el cuerpo seguirá la diagonal *a n* que consta de 5 pies, y cuando choque en el punto *n* perderá la velocidad respectiva 3, y conservará el movimiento horizontal, como se representa en la continuacion de la linea *o n*. En consecuencia raciocinamos de este modo: el cuerpo corriendo la diagonal tiene 5 grados de velocidad, y suponiendo uno de masa, tendrá 5 de fuerza segun la opinion contraria; pero chocando en *n* perdió tres, formando una cavidad; luego no podia conservar 4 grados de fuerza para correr en la direccion *n t* una línea igual á *o n* segun demuestra la esperiencia. Mas discurriendo con Leibnitz, el cuerpo en la diagonal tiene 25 grados de fuerza; pierde nueve en el choque, y le quedan 16 de modo que las fuerzas, ya unidas, ya separadas son iguales á 25 y el cuerpo *a*, sin embargo de la pérdida causada por el choque, podrá correr en la direccion *n t*, una línea igual á *o n*.

* Wolfio, Elem. Mechan. cap. 7.

Esperimento 7º. Dos globos de plomo de igual masa suspendidos por cuerdas iguales, si uno está en quietud, y otro choca contra él con velocidad como dos, siguen moviéndose ambos con un grado de velocidad. En la opinion contraria permanecen unas misma fuerzas antes y despues del choque, pues 1 grado de velocidad en masa como dos, es igual á 2 de velocidad en uno de masa, pero los globos aparacen complanados; luego ó esta complanacion se hizo sin fuerza alguna, lo que es en absurdo, ó antes del choque habia mas fuerza de la que asignan los contrarios.

Segun Leibnits, el cuerpo antes del choque tenia 4 grados de fuerza por tener uno de masa, y dos de velocidad: pero en producir la complanacion perdidos, y continúa moviéndose con los dos restantes ¡ qué cosa tan sencilla y conforme á la naturaleza ! La esperiencia clama y la razon no puede resistirse.

Confirmó esta esperiencia el docto Almeyda, haciendo caer sobre un cuerpo blando que estaba fijo, un péndulo con fuerzas como dos, y vió que la cavidad formada era exactamente igual á la que formaron dos péndulos en movimiento, cayendo uno sobre la parte posterior de otro que era del mismo cuerpo blando; luego fué cierto que el choque perdió dos grados de fuerza, y antes de él tenia cuatro.

Esperimento 8º. En los cuerpos elásticos se manifiesta la misma verdad, pues siendo de igual naturaleza, si uno está en quietud, y su masa es 3, y otro cuya masa es 1, choca en él con velocidad 4, se observa que el primero sigue moviendose con velocidad 2, y el segundo retrocede con la misma velocidad 2. De aquí se infiere que antes del choque las fuerzas eran 4, y despues de él son 8, si se computan segun los contrarios, como está manifiesto

atendidas las masas y las velocidades de los cuerpos. Se infiere tambien que el cuerpo que se movia cuya fuerza era 4 le dió al que estaba en quietud 6, porque 3×2=6. Siguiendo á Leibnitz todo sale bien: pues el cuerpo tiene 16 grados de fuerza antes del choque, y se encuentran los mismos despues de él, porque el cuerpo mayor tiene velocidad 2 cuyo cuadrado es 4 el cual multiplicado por la masa 3 hace 12; el menor tiene velocidad como 2 y siendo la masa 1 las fuerzas son 4, pero 12+4=16.

Los de contraria opinion quieren recurrir á la elasticidad de los globos, pero esta se sabe que no hace mas que recompensar las fuerzas perdidas en la compresion; luego nada influye en el cálculo, pues si les agregan las fuerzas de repulsion, nosotros agregarémos las de compresion exáctamente proporcionales.

Esperimento 9°. Doblando un resorte fijo por un estremo á un cuerpo inmóvil se proporciona que arroje un globo á la distancia 10 v. g. y duplicando la masa de éste cuerpo, se observa que el resorte con igual grado de compresion arroja éste cuerpo á la distancia 7, pero si se cuadruplica la masa, será arrojada á la distancia 5.

Si hacemos este cálculo segun la opinion contraria resultará que un mismo resorte comprimido de una misma manera, dé en el primer caso fuerzas 10; en el segundo 14 siendo la velocidad 7, y la masa 2; y en el terecero fuerza 20, siendo la velocidad 5 y la masa 4. Pero es un absurdo que una misma causa en iguales circunstancias produzca los efectos unas veces como 10, otras como 14, otras como 20.

Mas segun la opinion de Leibnitz, calculanos asi; las fuerzas en el primer caso serán 100: en el segundo la velocidad es 7, cuyo cuadrado 49 multiplicado por la masa 2, será 98; cuya diferencia es muy corta

respecto de 100: en fin el tercer caso el cuadrado de la velocidad 5, esto es 25 multiplicando por la masa 4 hará 100.

Se demuestra la misma doctrina si consideramos la velocidad de un cuerpo representada en las divisiones de las línea *a b* (Lám. 1, fig. 23.) del triángulo *a b c* y las fuerzas que le van comunicando se representan por las ordenadas del mismo triángulo *d e*, *t g*. Tendrémos que toda el área del triángulo representará toda la fuerza que ha hecho mover el cuerpo, y la área del pequeño triángulo semejante *t a g* la fuerza que le movió desde *a* hasta *t*. Pero estos triángulos semejantes están en razon de los cuadrados de sus lados homólogos *a t*, *a b*, y estos segun lo dicho representan las velocidades: luego las fuerzas del cuerpo en movimiento están en razon del cuadrado de la velocidad.

Leibnitz lo demuestra de este modo: la fuerza del movimiento es como la accion que lo produce, mas esta es compuesta de la masa del cuerpo, el espacio corrido, y la velocidad con que se corre; es decir que la accion es igual á $m v e$. Pero como los espacios corridos en tiempos iguales son como las velocidades, será $e=v$ por consiguiente $m\ e\ v=m\ v\ v$, de modo se infiere que la accion del cuerpo en movimiento es igual á mvv.*

Repuesta que suele darse.

Estos esperimentos, dicen, es muy cierto que prueban que cuando la velocidad es dupla los efectos son cuadruplos, pero no las fuerzas, porque una

* Véase á Muschembroek. tóm. 1. pag. 121 de la traduccion francesa por Sigaud de la Fond.

potencia como 2 operando en tiempo duplo, debe producir efecto cuadruplo. Pero el móvil que tiene 2 grados de velocidad comparado con el que tiene 1, opera en tiempo doble; luego los esperimentos nada prueban en favor de Leibnitz.

Observacion. Cuando los péndulos son de una misma longitud y peso, deben hacer sus movimientos en tiempos exactísimamente iguales, y está es una doctrina inconcusa. Luego por mas sutilezas que inventen nunca probarán que el globo a la distancia 4, operó en tiempo doble que el que lo arrojó á la distancia 2.

Por lo que hace á los otros esperimentos igualmente es falso que se opere en tiempo doble; mas para demostrar claramente lo absurdo de la respuesta, supóngase que un globo cuando empezó a formar la cavidad sobre el barro tenía fuerza como 2, proporcional segun los contrarios á la velocidad, y produjo un efecto como 2; en el segundo momento no puede conservar las mismas fuerzas, ni producir un efecto igual, por que algunas ha perdido en producir el primero; luego el efecto total no podría ser cuadruplo segun acredita la esperencia.

Si el cilindro *b* (Lam. 1, fig. 24,) cae sobre greda con velocidad 2, y forma la cavidad *a c* introduciéndose hasta *n*, es imposible decir que ha operado en tiempo doble y que por eso el efecto es cuadruplo. Supongamos que en el primer momento se introduce hasta 2, habrá perdido para producir este efecto la fuerza 2 que tenia, ¿qual le queda para continuar en el segundo momento, y producir un efecto igual al primero descendiendo hasta 4?

Deduciremos por tanto que ó los primeros efectos se hacen sin pérdida de fuerzas, esto es, sin causa, ó los contrarios no responden á los citados esperimentos, y su respuesta, como dice el citado Al-

meydo, se opone á los principios universalmente admitidos, á saber: 1º no hay accion sin reaccion. 2º Toda accion es igual á la reaccion. 3º Nada se hace sin pérdida de fuerza. 4º Las fuerzas perdidas en producir un efecto nada pueden executar en lo sucesivo.

" Además, continúa el mismo autor, si vale esta " razon cuando se duplica la velocidad, tambien " valdría cuando se duplica la masa; porque en- " tónces es mas fuerte el móvil, y su accion se com- " pleta en tiempo doble por la misma razon; por " tanto el móvil mas fuerte hará en el primer mo- " mento un agujero como 2, en el segundo lo hará " tambien como 2, por lo que el efecto será cua- " drúplo: siendo así que consta por la esperencia, " que cuando la masa es dupla, el efecto es sola- " mente duplo y no cuadruplo."

En conclusion podemos decir que la doctrina leibnitziana es generalmente admitida; pues aun sus contrarios confiesan que en la práctica siempre se observa que los efectos siguen la razon de los cuadrados de las velocidades; y como las fuerzas se graduan por los efectos que producen, es claro que deben computarse, no por las simples velocidades sino por sus cuadrados. Reflexíonese que lo que interesa á un fisico, es apliear sus doctrinas á la misma naturaleza de donde las ha deducido, y á los vários usos de la vida humana; de modo que nada sirve un cómputo por simples velocidades que en la práctica siempre será defectuoso; aunque en la especulativa (lo que nunca concederé) se suponga exacto; y siempre será capaz de inducir á infinitos errores, á menos que se hagan un sin número de consideraciones sobre los pequeños instantes en que opera un cuerpo, y venga á parar el calculo en lo

que se hubiera conseguido fácilmente multiplicando la masa por el cuadrado de la velocidad.

Fundamentos de la opinion contraria, y observaciones acerca de ellos.

1º Dos globos perfectamente elasticos y cuyas masas están en razon inversa de sus velocidades, chocan y vuelvan atras con igual velocidad; y esto prueba que sus fuerzas eran tambien iguales antes del choque, ló cual seria imposible en la opinion leibnitziana, pues $2\times4=8$, y $4\times2^2=16$.

Observacion. Parece que en este caso no se hace mas que restablecer las cosas á su antiguo estado, y que siendo las fuerzas desiguales antes del choque tambien lo son despues de él, y por tanto la objeccion no tiene fuerza alguna, supuesto que está fundada en que la fuerzas producidas despues del choque son iguales, lo cual es falso, pues el cuerpo menor para adquirir la nueva velocidad nécesita una fuerza igual al cuadrado de ella. Aunque los efectos quedan iguales á los que habia antes del choque, es preciso considerar que se emplean distintas fuerzas, como se hizo ver en los esperimentos de Almeyda, por los cuales consta que no basta cuadruplicar la fuerza para aumentar cuatro grados de velocidad.

2º Se pretendio probar que aunque los efectos son cuadruplos, la fuerza no lo es (¡ obstinacion !) y para esto se supone que dos globos iguales en masa y volúmen corren con velocidades en razon de 1 : 2 atravesando el agua. En este caso el 2º, corriendo doble porcion de agua, sufre una resistencia doble; por otra parte la velocidad con que hace el desalojamiento tambien es doble; luego la resistencia que

sufre el primer cuerpo es cuadrupla, porque tiene 2 en razon del espacio, y 2 por la velocidad. De aquí infieren que hallandose la fuerza en razon de la simple velocidad, debe producir efectos como el cuadrado de ella, "y que en lugar de concluir que una "fuerza cuadrupla por que los efectos lo son, ó en "general como el cuadrado de la velocidad, debemos concluir que la fuerza no es sino doble, ó en "general como la simple velocidad."*

Observacion. Yo tengo este argumento por una nueva prueba de nuestra doctrina, pues se demuestra y confiesa que dos cuerpos iguales y en igual tiempo producen efectos cuadruplos, siendo dupla velocidad, que es todo lo que podíamos apetecer. En igual tiempo, pues para duplicar la velocidad, solo se duplicó el espacio. No debemos hacer otra cosa que apreciar esta nueva prueba, que nos ha suministrado Mairan, y aprender en los malos raciocínios de los hombres grandes á corregir los nuestros.

3º Dos péndulos de plomo, cuyas velocidades se hallan en razon inversa de las masas, permanecen en quietud despues del choque, y esto prueba igualdad de fuerzas.

Observacion. Las fuerzas antes del choque eran desiguales, y si los cuerpos permanecen en quietud es porque se gastaron todas en producir efectos desiguales. Sean los globos *a b*, (Lám. 1, fig. 25,) cuyas masas estén en razon inversa de sus velocidades; supongámos que en el choque se aplanaron los segmentos que representan las líneas *r b*, *n d* claro está que el espacio *n r* corrido por estos globos para unirse los dos puntos *n*, *r* pertenece mucho mas á el globo *a* que á *b*, segun lo representa la tangente *b m*, de modo que la linea *r a* es dupla de *a n*. Luego

* Paulin.

el globo *a* en el acto de la complanacion corre un espacio duplo y desaloja una porcion dupla de materia, pues aunque ambos aparecen igualmente complanados la complanacion la ha hecho mucho mas el cuerpo *a* que el cuerpo *b*. Luego efectivamente antes del choque habia dobles fuerzas en el cuerpo *a* como prueban los leibnitzianos,

Hemos puesto demasiado sensibles los segmentos de las complanaciones para hacer clara lá figura, pero lo que se diga de estos, debe decirse de los pequeños que en realidad se producen.

4º Todo efecto es proporcionado á su causa, es así que la simple velocidad y no su cuadrado es la causa de las fuerzas; luego es falsa, concluye Alteri la doctrina leibnitziana.

Observacion. La fuerza de un cuerpo en movimiento se produce no por su velocidad, sino por los impulsos que comunica la causa movente, y como los esfuerzos son cuadruplos para comunicar velocidad dupla es tambien cuadrupla la fuerza *viva.* Esto debe tenerse muy presente porque todo el alucinamiento en esta materia proviene de creer que la velocidad es causa de la fuerza, cuando no es sino efecto de élla, y un signo de la doble accion empleada para mover á un cuerpo, de modo que al ver que se mueve con dos grados de velocídad se infiere que le comunicaron 4 de fuerzas.

" 5º Decir que el golpe es mayor por ser mayor
" el cuadrado de la velocidad, arguye Bails, es ape-
" lar á un ente de razon; las acciones de los cuer-
" pos se han de apreciar por algo que resida en los
" mismos cuerpos; en estos no hay mas que la sim-
" ple velocidad, cuyo cuadrado es para el caso ac-
" tual una cosa imaginaria."*

* Bails, Elem. de Matemát. tóm. 1. pag. 278.

Observacion. Existiendo en el cuerpo las dobles fuerzas empleadas para moverlo, y siendo esta la verdadera causa de las fuerzas vivas, apreciamos las acciones de los cuerpós por algo que reside en éllos mismos. Repito que la velocidad no es causa sino un signo de la fuerza, y habiendose demostrado por los efectos que esta es cuadrupla, cuando la velocidad es dupla: no se que duda puede quedar sobre este punto. Para mi es lo mas estraño decir: es cuadruplo el efecto mas no la causa que lo produce.

6. Si nos figuramos que los globos *a b*, (Lám. 1, fig. 26,) reciben del elastro *m* un grado de velocidad en direcciones opuestas y que al mismo tiempo el plano *h c f e* se mueve en la direccion *f e*; resultará que el globo *a* tiene dos grados de velocidad, y el globo *b* quedará como inmóvil porque el grado de velocidad que le comunica el plano en la direccion *f e*, se lo quita el elastro, comunicandole ígual grado en direccion contraria; en este supuesto arguye así Bails: el globo *a* teniendo dos grados de velocidad tiene 4 de fuerza segun la opinion leibnitziana; pero el plano solo tenia un grado de velocidad cuyo cuadrado es uno y por tanto le comunicó un solo grado de fuerza al globo *a*: luego los tres restantes le provinieron del elastro. Mas este elastro le comunicó al cuerpo *b* un solo grado de fuerza, porque era una el de velocidad. Luego un mismo elastro que es decir una misma causa produce en cuerpos iguales, efectos como uno á tres, lo cual es un absurdo.

Observacion. Es falso que el globo *a* despues de soltar el elastro tenga dos grados de velocidad, y por consiguiente es nulo todo el argumento que se funda en esta suposicion. Todos confiesan que cuando es dupla la velocidad es cuadrupla la resistencia; pero la resistencia cuadrupla exige fuerza cuadrupla para vencerla, y en el caso presente no la

hay; puesto que el plano comunica un grado de fuerza, y el elastro se supone que comunica otro. Luego siguiendo los mismos principios de la doctrina contraria, es falso que el cuerpo *a* pueda tener velocidad dupla. Dice Bails: el plano comunica velocidad como 1, y el elastro tambien como 1; luego reunidos producirán velocidad 2, sin advertir, que dos causas que separadas produce cada una un grado de velocidad, no son capaces reunidas de producir velocidad dupla, segun lo tiene acreditado la esperiencia, que es la unica norma del fisico.

7°. En una balanza se dá equilíbrio cuando los pesos están en razon inversa de sus distancias al centro; pero las distancias indican las velocidades; luego es falsa la opinion de Leibnitz.

Observacion. Las distancias indican las presiones que pueden producir las velocidades; mas no las mismas velocidades producidas. Los pesos en la *balanza* que está en equilíbrio, son fuerzas muertas, y no deben tener lugar cuando computamos las vivas. El sábio Almeyda demostró que esa misma balanza en equilíbrio, permitiéndole el descenso libre, alternativamente á cada uno de sus lados, producían efectos que estaban en razon de los cuadrados de las velocidades.*

Algunos se han empeñado en probar que la cuestion es de nombre, porque si considerámos al cuerpo operando en dos tiempos, cuando se compute por la simple velocidad; y en uno, cuando se atienda al cuadrado tendrémos un mismo efecto.

Para convencerse de que este es un mero efugio; basta considerar que muchos de los esperimentos se han hecho con un pendulo colocando un mismo cuerpo y dándole mayor velocidad solo con hacerle caer de mayor altura, ó describir mayor arco. Segun de-

* Almeyda Fisica experimental, tóm. 1. pág. 131.

mostraremos en la Mecanica, cuando no se varia el peso del pendulo ni su longitud, todas sus osilaciones se hacen en un mismo tiempo, y asi de ningun modo puede decirse que se ha empleado un tiempo doble en producir los efectos. El pendulo cuando cae de la altura 4 emplea el mismo tiempo que cayendo de la altura 2. Por tanto es arbitraria semejante proposicion, de diferencia en los tiempos.

Comunicacion de las fuerzas en choque de los cuerpos inelasticos.

La esperiencia ha indicado ciertas reglas que los fisicos tienen por leyes del choque.

Ley 1ª. " Si un cuerpo choca con otro que está " en quietud, se reparten sus fuerzas en razon de las " masas."

La razon es que la fuerza se dirige á mover la masa, luego donde fuere mayor ésta sera preciso emplear mas fuerza. De aquí se infiere que debemos atender á la masa de ambos cuerpos, y hacer una division proporcional entre las partes de élla para saber la fuerza que se comunica en el choque al cuerpo en quietud.

Si un cuerpo de 4 libras con 3 grados de velocidad choca con otro de 2 libras que esté en quietud; deduciremos el repartimiento de las fuerzas sumando las dos masas y dividiendo por esta suma la fuerza del cuerpo que estaba en movimiento. De este modo se conoce la cantidad de fuerza que corresponde á cada libra y por consiguiente la de cada cuerpo, que será mayor ó menor segun las libras que tenga. En el egemplo propuesto la fuerza es 36 porque 4+3=36: la masa total de ambos cuerpos es 6 luego dividiendo 36 por 6 tocaran 6 á cada libra, y como el cuerpo mayor tiene 4 libras y el menor 2, la fuerza de aquel será 24 y la de este 12.

Ley 2ª. "Si un cuerpo se mueve con mas veloci-
"dad que otro que corre en la misma direccion, cuan-
"do lo alcance, y choque con él; deberá comuni-
"carle de el exceso de su fuerza en razon de la masa."
Si corriere pues un cuerpo con diez grados de fuerza, y otro le siguiere con veinte, siendo de igual masa, le comunicará cinco en el choque, y seguirán teniendo ambos 15.

Ley 3ª. "Cuando dos cuerpos inelásticos de igual
"masa se encuentran con igual velocidad, ambos
"quedan en quietud," pues trayendo iguales fuerzas, se consumen estas en destruirse mutuamente.

Ley 4ª. "Si dos cuerpos inelasticos con fuerzas
"desiguales chocan en direcciones opuestas despues
"del choque se moverán en la direccion del mas fu-
"erte con la diferencia, ó exceso de fuerza que habia
"antes del choque repartida entre ambos segun sus
"masas."

Supongamos que un cuerpo de 6 libras choca con otro de 2 que viene en direccion opuesta, teniendo el primero 3 grados de velocidad y 4 el segundo: la fuerza del primer cuerpo será $6 \times 3.^2 = 54$, la del segundo será $6 + 3.^2 = 32$; luego la diferencia de fuerzas será 22. Esta es la cantidad que ha de repartirse entre ambos cuerpos, pues todo el resto de la fuerza del primero se consumió en destruir la del segundo. Dicha reparticion se hace conforme á las masas por el metodo que hemos indicado anteriormente, y los cuerpos continuan moviendose en la direccion del mas fuerte teniendo cado uno la fuerza que le haya correspondido segun su masa.

Comunicacion de las fuerzas en el choque de los cuerpos elásticos.

Suponiendo una elasticidad perfecta es claro que el cuerpo se restablece con la misma velocidad con

que fue comprimido, y dá un impulso en direccion opuesta á la del choque, produciendo una nueva fuerza contraria á la que traía el cuerpo, la cual le obliga á retroceder. Hecha esta consideracion, observémos los distintos casos que pueden ocurrir en choque de los cuerpos elásticos.

PRIMER CASO: *en que un cuerpo elástico choca con otro que está en quietud.*

Ley 1ª " Si un cuerpo elástico choca con otro " igual y quieto, quedará el primer cuerpo inmóvil " y el segundo seguirá moviendose con la velocidad " del primero."

Siendo igual el cuerpo que está en quietud al que viene en movimiento, este le comunicará exactamente la mitad de su fuerza como hemos manifestado tratando de los cuerpos inèlasticos; pero en el choque se produce una compresion y esta dá un impulso hacia atrás como lo observamos en una pelota ó en otro cualquier cuerpo elastico que se comprima. Suponiendo que la elasticidad es perfecta, este impulso será exactamente igual al que produjo la compresion y por consiguiente destruirá la misma cantidad de fuerza que fué necesaria para comprimir el cuerpo. Tenemos pues que el cuerpo en movimiento perdió la mitad de su fuerza comunicandosela al que estaba quieto y la otra mitad por el esfuerzo contrario de su elaterio: luego se queda sin fuerza alguna y debe permanecer en quietud mientras el otro cuerpo sigue con todo la fuerza, pues recibió la mitad por comunicacion y la otra por su elaterio.

Ley 2ª " Si un globo elastico choca con otro de " menor masa, seguirán ambos moviéndose, pero el " menor, con mayor velocidad que el otro."

Por las reglas establecidas, el cuerpo mayor comunicará al menor una cantidad de fuerza proporcional

á la masa de este, y como dicha masa es menor que la del cuerpo que se mueve no podrá decirse que este ha perdido la mitad de su fuerza. Su elasticidad le hace perder nuevamente una cantidad de fuerza igual á la primera perdida y por consiguiente menor que la que conservaba despues del choque; luego le restará alguna cantidad de fuerza, y con esta seguirá moviendose pero con menor velocidad que antes. El cuerpo menor recibe del mayor una cantidad de fuerza proporcional á su masa, y su elaterio le comunica otra igual en la misma direccion, luego deberá moverse con mucha mayor velocidad que el anterior. Para comprender esto mas claramente reflexionemos que si los cuerpos fueran inelasticos, bastaria la comunicacion de las fuerzas en razon de las masas, para que continuasen ambos con una misma velocidad; pues deberia suponerse que la fuerza total se hallaba repartida igualmente entre todas las particulas que los constituian, y asi todas debian moverse de un mismo modo: mas en los cuerpos elasticos el primero há sufrido una nueva perdida causada por su elasticidad, y el segundo ha conseguido por decirlo asi una nueva ganancia; luego el cuerpo menor deberá moverse con mas velocidad que el mayor.

Ley 3ª "Si un cuerpo elástico choca con otro de "mayor masa volverá hácia atrás, y el cuerpo con "quien chocó seguirá moviendose en la direccion del "choque con mayor fuerza que la que tenia el cuerpo "manor."

Comunicándose la fuerzas en razon de las masas, queda el cuerpo que ha chocada destituído de mucho mas de la mitad de su fuerza para mover al otro; mas su elaterio le comunica en direccion contraria fuerzas iguales á las perdidas; luego este cuerpo volverá atrás, y el otro seguirá moviéndose, y con mayor fuerza, pues su elasticidad le dá otra tanta.

SEGUNDO CASO: *en que un cuerpo elastico choca con otro que se mueve en la misma direccion, pero mas lentamente.*

Ley 1ª "Si un cuerpo elástico choca con otro "que se mueve en la misma direccion, despues del "choque, ambos se moverán; pero cambiada la "fuerza."

Porque el cuerpo que se movia recibe la mitad del exceso de las fuerzas que traía el otro, y además recibe por su elaterio igual impulso; luego adquirirá todo el exceso de las fuerzas del otro y por tanto tendrá todo el movimiento. Pero el cuerpo que choca pierde la mitad del exceso de sus fuerzas que comunica, y la otra mitad por el esfuerzo de su elaterio en sentido contrario; luego pierde todo el exceso, y se queda con la fuerza que tenia el otro globo.

Ley 2ª "Si un cuerpo elástico choca con otro "menor que se mueve en la misma direccion ambos "seguirán moviéndose; mas el primero con menor "velocidad que el segundo." La razon de estos efectos se deduce claramente de lo que hemos dicho esplicando la ley 2ª del choque de los cuerpos elasticos con otro en quietud.

Ley 3ª "Si un cuerpo elástico choca con otro "mayor que se mueve en la misma direccion, unas "veces quedará en quietud, otras continuará su mo- "vimiento; y otras volverá hacia atras."

Esto resulta del exceso de mas que tiene el cuerpo que se mueve lentamente y del mayor ó menor exceso de fuerza que trae el cuerpo que choca. Cuando el exceso de la masa es tal que le quita la mitad de todas sus fuerzas al cuerpo que choca, entónces quitandole su elaterio la otra mitad por el impulso que hace en direccion contraria; el cuerpo quedará quieto. Si no es tanto el exceso de la masa que

le quite al cuerpo que choca la mitad de la fuerza entónces continuará su movimiento. Ultimamente si excediesen en términos de quitarle mucho mas de la mitad de sus fuerzas, el cuerpo volverá atras; pues sabemos que el elaterio produce un esfuerzo contrario é igual al de la compresion.

TERCER CASO: *en que dos cuerpos elasticos se encuentren en direcciones contrarias con fuerzas iguales, ó desiguales.*

Ley 1ª "Dos cuerpos elasticos é iguales que se "encuentran con fuerzas iguales vuelven atrás con "las mismas."

Siendo iguales los cuerpos y sus fuerzas deberian quedar estas destruidas, y los cuerpos en quietud, si fueran inelasticos. Pero la elasticidad, restablece en direccion contraria tanta fuerza como la qué se ha perdido en el choque; luego restablecerá en ambos cuerpos toda la que tenian pues toda la han perdido, y asi volverán atras con la misma fuerza que traian.

Ley 2ª "Si dos cuerpos elásticos desiguales en "masa chocan en direcciones opuestas, el mas "fuerte unas veces volverá atras, otras quedará en "quietud, otras seguirá su carrera; pero el mas "debil volverá atras."

La razon de esta ley se deduce de los principios establecidos, y es conforme á la esplicacion que hemos dado esplicando la ley tercera, del choque de dos cuerpos elásticos que se mueven en una misma direccion, con distintas velocidades.

Supongámos que un cuerpo tiene masa 4 y velocidad 2; y el otro, masa 2, y velocidad 4. Las fuerzas del primero serán 16, y las del segundo 32; pero en el choque el cuerpo de mas fuerza le comunicará al otro una parte de éllas en razon de las

masas, y como la de este es dupla de la del cuerpo menor, le comunicará la mitad que son 16; luego el cuerpo quedará en quietud, habiendo perdido la mitad de fuerzas, por habérselas comunicado al cuerpo mas debil, y la otra mitad por ser destruída por los esfuerzos contrarios de su elásticidad; y el primer cuerpo volverá atrás porque habiéndo perdido 4 grados de fuerza le quédaron 12 que reunidas a 16 que le comunica el otro cuerpo, formán 28. Por lo que hace á los otros casos, que espresa la ley anterior es bien facil encontrar ejemplos de ellos.

Proposiciones de Almeyda sobre la espansion de los resortes.

1ª Si un resorte doblado se desenvuelve entre un cuerpo fijo, y otro movible, comunicará toda su fuerza a éste.

2ª Cuando el resorte se desenvuelve entre dos moviles de igual masa, comunica á cada uno la mitad de su fuerza.

3ª Si el resorte se dilata entre móviles de masa desiguales, la velocidad que les comunica estará en razon inversa de las masas.

4ª Si el resorte se dilata entre móviles desiguales no solo la velocidad, sino tambien las fuerzas comunicadas estarán en razon inversa de las masas.

"Porque si las masas fueren como á 1, y las " velocidades como 1 á 3, las fuerzas atendido el " cuadrado de velocidad, serán como 9 á 1, y tenien- " do el móvil mas tardo masa como 3, en atencion " á esta las fuerzas como 1, llegan á ser como 3 y " por tanto las fuerzas comunicadas por el resorte " serán como 9 á 3, que es la razon inversa de las " masas.

"Objetan: los cuadrados de las velocidades no

"pueden estar en la misma razon de las velocidades
"es así que las velocidades están en razon inversa:
"de la masas: luego las fuerzas que se deben me-
"dir por el cuadrado de las velocidades, no puede
"estar en razon inversa de las masas. A esto digo
"que si pretenden que las velocidades no podrian
"estar en la misma razon de las fuerzas, si solo se de-
"bieren medir por los cuadrados de las velocidades,
"lo concedo: pero si las mismas fuerzas se debie-
"sen medir no solo por los cuadrados de las veloci-
"dades, sino tambien por las masas no puedo con-
"venir en ello. Por que cuando las masas son igua-
"les, las fuerzas ciertamente no pueden ser como
"las velocidades, estando solamente en razon de sus
"cuadrados; péro supuestas masas desiguales, las
"fuerzas se aumentan, no solo por los cuadrados de
"la velocidad, sino tambien por la masa.

Composicion de fuerzas.

Ley 1ª "Un cuerpo impelido por diversas fuerzas obedece á cada una de ellas, segun la proporcion "en que se encontrasen."

Ley 2ª "Un cuerpo impelido por fuerzas que "forman angulo correrá la diagonal de un paralelo-"gramo en el mismo tiempo en que hubiera corrido "uno de sus lados, si se abandonara á una de las "fuerzas solamente."

El cuerpo debe obedecer cuanto pueda á cada fuerza, luego seguirá la línea media que es la diagonal, en el mismo tiempo, que correría un lado; pues si suponemos que el cuerpo *a*, (Lám, 1, fig. 28,) recibe un impulso en la línea *a c* para correrla en 3 y otro en la línea *a d* para correrla en el mismo tiempo, obedecerá á ambas fuerzas si en los 3 llegare al punto *b*. De modo que si consideramos

la línea *c a*, como una canal en que ruede el globo *a* en 3 y hacemos descender esta canal en los mismos 3 el espacio *a d*, resultara que cuando la canal llegue á *p n*, el globo habrá corrido por la misma canal hasta el punto *i*; cuando llegue la canal á *r s* el globo llegará á *m*, últimamente cumplidos los 3', la canal estará en *b d*, y el globo en *b*, habiendo corrido la diagonál en el mismo tiempo que hubiera empleado en correr una de las líneas del paralelógramo, si se moviera por una fuerza.

El aparáto que presenta la figura 29 es un cuadrado perfecto, y tiene una pequeña canal en el lado superior por donde corre la argolla *s* que está unida a una planchuelá que ajusta en dicha canal aunque puede moverse facilmente. El hilo de que está pendiente el globo *b* se halla atado en *r*, pasa por la argolla *s*, y por una hendidura que tiene en el centro la canal y se estiende hasta el estremo opuesto, de lo cual resulta que la argolla no puede avanzar ún solo punto en la linea *s m*, sin que se recoja el hilo, haciendo suspender otro tanto el globo *b*. Para dar este movimiento horizontal a la argolla se ata al pequeño píe que la sostiene, un hilo que vá a dar al cilindro movible *m*, que en la figura solo se presenta visto por su base, pues se supone que gira sobre un ege. A este mismo cilindro va a parar el hilo que sostiene el globo *a*, y ambos hilos se presentan en la parte posterior de dicho cilindro. Tirando a la vez de los dos hilos se consigue que por el movimiento de el cilindro suban los globos *a* y *b* llegando al mismo tiempo al punto *d*, pues la argolla habrá avanzado hasta este angulo y por consiguiente se habrá recogido todo el hilo de que pende el globo *b*, supuesto que

hemos dicho que el aparato es un cuadrado, y por la misma razon se habrá recogido el hilo de que pende el globo *a*. Tenemos pues que en el mismo tiempo en que el globo *a* movido por una sola fuerza, esto es, por un solo hilo sube la perpendicular *a d*, el globo *b* impelido por dos fuerzas cuales son los dos hilos que presenta la figura, corre diagonál *b d*, y como la fuerza perpendícular, o lo que es lo mismo, el hilo que sostiene el globo *b* es exactamente igual al que mueve al globo *a*; se infiere claramente que el globo *b* abandonado a la fuerza perpendicular, o a la horizontal correria uno de estos lados en el mismo tiempo en que ha corrido la diagonal.

Del movimiento reflejo.

Cuando un cuerpo cae sobre otro perpendicularmente, vuelve atrás por la misma línea, restituyéndose a igual ó menor altura, segun que la elasticidad sea perfecta ó imperfecta. Cuando cae oblicuamente, vuelve atrás por una línea semejante formando un angulo, del que vamos a tratar.

Es preciso traer a la memoria lo que dijimos sobre la composicion de fuerzas, esto es, que un cuerpo que desciende por una diagonal vá impelido por dos fuerzas, una horizontal y otra vertical. Chocando en el plano pierde la fuerza vertical, y conserva la horizontal; pues el plano de ningun modo se opone a esta direccion. Por tanto si no hubiera una causa que produjera un impulso vertical, el cuerpo seguiría horizontalmente rodando por el plano, y segun que el impulso vertical fuere mayor

ó menor; asi sera mas ó menos inclinado la nueva linea de reflexion.

Pero esta causa que da el nuevo impulso que hace subir el cuerpo, es la elasticidad, que siendo perfecta comúnicará una fuerza igual a la primera, y siendo imperfecta la comunicará menor.

Para aclarar esta doctrina supongámos que el cuerpo *b* (Lám. 1, fig. 30,) cae perpendicularmente sobre el plano *cd* en este caso se comprimirá y restableciéndose por su elasticidad deberá subir por la misma línea *nb*, pues no hay una causa que le obligue á inclinarse á una parte mas que á otra, y asi formará nuevamente los dos ángulos rectos *bnc*, *bnd*. Mas si el cuerpo desciende por la línea *rn*, que es la diagonal del parálelogramo *rbcn*, al llegar á este punto encuentra una resistencia que se opone al descenso, pero no á la fuerza horizontal que representa la linea *nd*, y el cuerpo no siendo elastico, rodaría por el plano en la direccion *nd*, hasta que se estinguiera su fuerza horizontal; pero la elasticidad siendo perfecta comunica al globo una fuerza para ascender, igual á la que traía en el descenso, y que representaba la línea *rc*, luego tendrémos una nueva composicion de fuerzas, y el cuerpo subirá por la diagonal *np* conducido por la fuerza horizontal que conservaba y por la nueva de ascenso que adquiere. Suponiendo que la fuerza horizontal fuera uniforme y que por otra parte la elasticidad fuera tan perfecta que comunicará con exactitud la misma fuerza que traía el cuerpo al fin de su descenso, resultaría el ángulo *pnd* exactamente igual á el angulo *rnc* y tambien serían iguales los paralelogramos como representa la figura, mas si alguna de estas fuerzas se debilitáre, el cuerpo seguirá distinta diagonal, inclinada á la fuerza què excedíere como representan las líneas *ns*, *nt*, de donde resultará que el nuevo ángulo

no sea igual al primero; y como en la naturaleza casi nunca se verifica esta exactitud en la relacion de las fuerzas, cuando refleja un cuerpo, podemos concluír que el ángulo de reflexion casi nunca es exactamente igual al de incidencia, y que cuando los físicos han establecido como principio la igualdad de estos ángulos, ha sido procediendo por nociones abstractas, y suspociones arbitrarias sin conformarse á lo que realmente sucede en la naturaleza. A pesar de esto debemos confesar que en muchos casos es poco sensible la diferencia de estos ángulos; y que puede aplicarse con buen suceso el principio generalmente admitido.

De lo espuesto se infiere que cayendo un cuerpo, perpendicularmente sobre un plano el ángulo de reflexion es igual al de incidencia, pero si cae oblicuamente, el ángulo será tanto mayor cuanto exceda la nueva fuerza vertical á la horizontal que conserve, y tanto menor cuanto esta exceda á aquella; pero si una y otra fuerza se suponen establecidad en la misma relacion anterior, los ángulos serán iguales.

Inferímos asímismo que si muchos globos caen paralelamente sobre una superficie convexa, reflejan esparciéndose, y si caen sobre una superficie cóncava, se reunen á mayor ó menor distancia, que está en razon inversa de la concavidad, así como la separacion estará en razon inversa de la convexidad. Esto se representa en las figuras 31 y 32 donde se ve que para que los ángulos de reflexion sean sensiblemente iguales á los de incidencia, es preciso que los globos reflejen esparciéndose en el primer caso, y reuniendose en el segundo, pues solamente los globos *a* y *b* que caen por una línea perpendicular á la superficie ascenderan por la misma.

Del movimiento refracto.

Movimiento refracto es el que muda su direccion al pasar oblicuamente de un medio mas raro á otro mas denso, y al contrario. Las leyes de la refraccion universalmente admitidas son las siguientes.

Ley 1ª Cuando un cuerpo pasa oblicuamente de un medio mas raro á otro mas denso, varía de direccion, apartándose de la perpendicular.

*Ley 2ª Si un cuerpo pasa oblicuamente de un medio mas denso á otro mas raro, se aparta de su direccion acercándose á la perpendicular.**

La causa de esta refraccion es la mayor resistencia que encuentra el cuerpo llegando al medio mas denso; pues entónces se disminuye la fuerza perpendicular, y permaneciéndo la horizontal es preciso que la diagonal sea ménos inclinada segun las leyes de composicion de fuerzas. Cuando ya está el cuerpo en el medio mas denso, resistiendo éste igualmente por todas partes, no hay una causa que varíe la direccion que adquirió á la entrada, y asi toda la línea sigue apartandose de la perpendicular.

Reflexionando en sentido contrario se advertirá claramente, por que al pasar de un medio mas denso á otro mas raro, se hace la refraccion acercándose á la perpendicular.

Si el globo *h* (Lám. 1, fig. 32,) pasa del aire al agua, al entrar en ésta encuentra mayor resistencia en la perpendicular que en la horizontal, pues son diversos los diametros de las columnas de agua, que tiene que vencer segun representan las líneas de

* Debemos advertir que la luz no sigue estas leyes en sus refracciones, lo que esplicarémos cuando se trate de élla.

puntos y por esta causa el globo dá un pequeño giro, y en lugar de seguir la direccion que traía hácia el punto *b* se dirige al punto *n*, tanto mas separado de la perpendicular *r s*, cuanto menor fuere el diametro de la columna horizontal respecto del de la vertical, y como mientras mas oblicua sea la incidencia, tanto menor es el diametro de la columna horizontal que se opone á la direccion del globo, se infiere que la refraccion es mayor cuando es mayor la oblicuidad de la incidencia. Saliendo del agua á el aire sucede lo contrario, pues entónces la parte superior del globo se halla fuera en el aire libre, y por consiguiente se ha disminuido la resistencia vertical, mientras que la horizontal permanece, por hallarse aun la parte inferior del globo sumergida en el agua. Si suponemos que el globo sube del punto *n* dirigiendose al punto *a*, luego que llegue á la superficie del agua dará un pequeño giro y se dirigirá al punto *h* acercandose á la perpendicular que seria la línea *r*, *s* prolongada hácia arriba.

Para entender mas claramente estas doctrinas reflexionémos que un globo ú otro cuerpo que se mueve, sigue una línea de direccion que pasa por su centro, y así el globo *e* (Lám. 1, fig. 34,) tendrá la línea de direccion *a b*, ó *nt* segun que se le quiera hacer correr la línea *br* ó *nt* y por consiguiente al entrar en el agua con la direceíon *a b*, puede tener sumergida una parte que representa la línea de puntos sin que su linea de direccion *ab* esperimente la resistencia del agua, y en este caso el globo no entrará en ella, sino que saltará como las balas que se tiran muy inclinadas sobre la superficie del mar; pues el globo desalojará la columna de agua que corresponde al segmento sumergido, y girando sobre su eje, no llegará á entrar en dicho líquido por no haber una causa suficiente que le obligue á dejar su direccion, acer-

candose al medio que mas resiste; pero si trajese la direccion *nt* seguramente entraria en el agua, aunque desviase algo de la perpendicular, por las razones que hemos espuesto.

De las fuerzas centrales.

Se llaman fuerzas centrales, las que hacen girar un cuerpo al rededor de un centro. La esperiencia ha demostrado que un cuerpo no puede moverse circularmente si no está impelido por dos fuerzas, una que lo tire hacia el centro, y otra que lo separe de él por la tangente, pues siendo el círculo un poligono de infinitos lados, podemos considerar cada uno de ellos como la diagonal de un pequeño paralelógramo, y estas sabemos que no se corren sino por la composicion de dos fuerzas.

No es otra la razon porque permanece tirante el cordel de una honda, y se escapa la piedra por la tangente, luego que se vé en libertad. Se hace mas sensible poniéndo un vaso lleno de agua en la honda, pues no solamente no se cae el agua sino que está mas segura dentro del vaso, mientras mas veloz es el movimiento, y si abrimos un agugero en el fondo de dicho vaso la verémos salir por él, aun cuando esté vuelto hacia arriba.

La fuerza que llama un cuerpo al centro, se dice *centripeta*, y la que lo separa de él *centrifuga*. Sus propiedades se espresan en las proposiciones siguientes.

1ª *Cuando la fuerza centrifuga es igual á la centripeta, el cuerpo describe un círculo; y si alguna de ellas exediere á la otra, describirá una elipse tanto mas exentrica, cuanto mayor fuere el exeso.*

Esta proposicion está suficientemente probada si recordamos la doctrina de composicion de fuerzas:

porque siendo en el primer caso las fuerzas iguales, no pueden menos que tener igual inclinacion las pequeñas diagonales y formar un verdadero circulo, diciéndose lo contrario en el segundo caso.

2ª *La fuerza centripeta sigue la razon directa de la masa, e inversa del cuadrado de la distancia.*

Pues se identifica con la atraccion.

3ª *La fuerza centrifuga se aumenta en razon de la masa, de la distancia al centro, y del cuadrado de la velocidad.*

Cuanto mayor es la masa tanto mayor es el número de partes que ejercen las fuerzas centrifugas: segun la mayor distancia al centro, ó el mayor radio es mayor el arco corrido en un mismo tiempo, y por consiguiente mayor la velocidad; pero las fuerzas vivas siguen la razon del cuadrado de las velocidades; luego las fuerzas centrifugas se aumentan en razon de la masa, de la distancia y del cuadrado de la velocidad.

Para demostrar esta doctrina se usa del aparato que representa la figura 35, donde *ab* es un bolante que gira cuando se da vuelta á la cigueña *s*.

Los globos *n t*, corren facilmente por el alambre que representa la línea que los atraviesa. Estos globos tienen unos botones que sirven para reunirlos por medio de unos hilos como se vé en *h*. Colocándolos á igual distancia del centro, por ejemplo, al número 2 y 2, se hace dar vuelta el bolante y los globos conservan su situacion hasta que por alguna casualidad ruedan mas hácia una parte que á otra por haber perdido la situacion horizontal. Si se coloca uno al número 2 y otro al número 1, el primero se lleva al segundo, luego que se mueve el bolante. Sí en lugar de globos iguales se substi-

tuye otro menor aunque las distancias sean iguales vencerá el mayor. En una palabra, con este aparato pueden practicarse todos los esperimentos que manifiestan las fuerzas centrifugas.

4. En el movimiento circular, la velocidad es uniforme, pero no en el eliptico.

Siendo iguales las fuerzas componentes se han de correr las diagonales en igual tiempo. Ademas que como la velocidad sigue la razon de la distancia al centro, siendo uno mismo el tiempo, no puede ménos que ser uniforme en el círculo, sucediendo lo contrarío en la elipse.

5ª La fuerza central ya sea centrifuga, ya centripeta en el circulo es como el cuadrado de la cuerda ó del arco, dividido por el diámetro.

Para que el cuerpo *a* (Lám. 1, fig. 36,) corra el arco *as* ó su cuerda es preciso que haya dos fuerzas, una en la direccion *am*, y otra en la direccion *ac*, pudiéndose considerar el arco igual á su cuerda por ser muy pequeño, pero siendo semejantes los triángulos *asd*, *asc* será: $ac : as :: as : ad$ y por tanto ac

$$ac=\frac{as^2}{ad}$$

6ª La fuerza centrifuga ó centripeta, es como el cuadrado de la velocidad dividido por el diámetro.

Del descenso.

El descenso de los cuerpos es uniformemente acelerado.

Pues la gravedad es una causa constante que produce sus efectos sin destruir los anteriores.

Pero hemos dicho que en el movimiento uniformemente acelerado, los espacios corridos en tiempos iguales y sucesivos son como los números impares,

1, 3, 5, 7, &c.; luego el descenso en tiempos iguales, sigue la razon de los números 1, 3, 5, 7, &c. Lo contrario debe decirse del ascenso. Avirtámos tambíen que estas reglas se establecen prescindiendo de la resistencia del medio, y que en la práctica no es exactamente el descenso en razon de los números impares, pues va perdiendo por la resistencia alguna parte. Siendo el descenso muy dilatado llegaría á ser uniforme; porque tanto adquiriría por los esfuerzos de la gravedad, como perdería por la resistencia de medio, dejando por consiguiente de ser acelerado.

Para confirmar esta doctrina con esperimentos se inventó el aparato que représenta la fig. 37. El madero *lk* esta dividido en partes iguales como representan las lineas que corresponden á los números desde 0, hasta 9. El anillo *i* se puede colocar á diversas alturas; los pesos *f*, *c* son exactamente iguales, y los representados en *g* y *h* son adicionales al peso *f*, pues se le agregan para que aumentándolo haga mover la rueda y descienda dicho peso. En este aparato se observa que á tiempós iguales medidos por un péndulo, los espacios están en razon de los números impares; pues si en el primer momènto corre el espacio de 0 á 1, en el segunto vá de 1 á 3, y en el tercero de 3 á 7, entendiéndose esto en el movimiento uniformemente acelerado, que se produce por la adicion del peso y que puede pasar perfectamente por el anillo; mas si usamos del peso adicional *h* colocando el anillo *i* frente al número 3, entónces al principio de la caída habra un movimiento acelerado, pero sera uniforme luego que pase el peso *f* por el anillo donde se quedará el peso *h*, que no puede pasar y por consiguiente equilibrados los pesos *f*, *c* continuarán un movimiento uniforme.

La esperiencia ha demostrado que los cuerpos en el descenso corren 4 metros y 9 decimetros en el primer segundo, y sucesivamente van aumentando los espacios corridos en razon de los numeros impares 1, 3, 5, segun acabamos de demostrar. Para hacer estos esperimentos se eligieron cuerpos de poco volúmen y mucho peso v. g. un globo de plomo; se hicieron caer de un edificio elevado, y se marcó la distancia á que descendian en un segundo indicado por un pendulo. Es cierto que todos los cuerpos no descienden con una misma velocidad, pues segúramente no cae tan pronto un globo de dos libras como otro de cincuenta, pero sin embargo cuando los cuerpos tienen una gran masa bajo un corto volúmen son casí insensibles estas diferencias, por lo menos en cortas distancias como es la que se corre en el primer instante del descenso. Si los cuerpos descendieran en el vacio, sin duda correrian todos con una misma velocidad segun digimos tratando de la pesantez; mas en el aire se retardan unos mas que otros por la resistencia de este fluído que es proporcional al volúmen del cuerpo, siendo esta la razon de los efectos observados por Galileo, esto és que el descenso de los cuerpos no es proporcional á su peso y que asi no basta duplicar ó cuadruplicar el peso de un cuerpo para hacer que caiga de una altura dada en la $\frac{1}{2}$ ó en un ¹ del primer tiempo. Con todo, el primer momento del descenso puede considerarse como hecho en el vacío cuando el cuerpo tiene una gran masa en corto volúmen pues en este caso posee una gran fuerza para vencer la resistencia del aire que llega á ser casi insensible.

Cuando los cuerpos son muy diferentes en volúmen, y tienen poco peso sé hace mas notable la diferencia en el descenso, segun se obsérvó en una serie de esperimentos practicados desde la altura de

la iglesia de S. Pablo de Londres, pues habiendo dejado caer á un mismo tiempo varios globos de un mismo peso que no pasaba de ocho libras, pero de distintas materias y por consiguiente de distinto volúmen: se observó que habia una notable diferencia en el tiempo del descenso sin embargo de ser uno mismo el peso de los cuerpos que descendian.

Influye tambien considerablemente en el descenso de los cuerpos la figura de estos, aun cuando tengan un mismo peso y una misma superficie. Con el objeto de hacer palpable esta doctrina á mis díscipulos en el tiempo que ocupaba la Catedra de Filosofia en él Colegio de S. Carlos de la Habana hice construir dos paralelógramos, uno rectangulo y otro inclínado, que siendo de la misma altura y teniendo la misma base, tenían igual superficie como se demuestra geometricamente; y tambien un circulo cuya area contenia sensiblemente la misma superficie que dichos paralelógramos. Estos cuerpos tenian exactamente un mismo peso, y habiendolos dejado caer á un mismo tiempo de una de las ventanas mas altas de dicho Colegio llegó á tierra el circulo antes que el paralelógramo rectangulo, y este que el inclinado habiendo cerca de un segundo de diferencia en el descenso de el primero y el ultimo de estos cuerpos.

El descenso de los cuerpos sirve para medir las alturas, segun se deduce de las doctrinas establecidas, pues si se elige un cuerpo de un peso notable y de poco volúmen, podemos despreciar la resistencia del aire mucho mas si el cuerpo es esférico, y deduciremos la altura multiplicando el espacio de 4 metros y 9 decimetros, que corre el cuerpo en el primer segundo del descenso, por el cuadrado del tiempo total ó de la suma de los segundos que tarda el cuerpo en caer, pues siendo este movimiento uni-

formemente acelerado, los espacios corridos son como los cuadrados de los tiempos.

Del descenso por planos inclinados.

Damos el nombre de *plano inclinado*, al que forma un ángulo con una superficie horizontal. Oponiéndose este plano de algun modo al descenso vertical, se infiere que siendo producido este movimiento por la gravedad que opera verticalmente.

El descenso por el plano inclinado es mas tardo que el vertical.

Pero la inclinacion puede ser vária, y oponerse mas ó menos al descenso. Luego.

El descenso en un plano inclinado será mas ó ménos veloz segun la inclinacion de dicho plano, siendo mas rápida segun se acerque mas al ángulo recto.

La gravedad es la causa del descenso, y por consiguiente produce efectos constantes: luego por la misma razon que en el descenso vertical diremos que:

El descenso por el plano inclinado se acelera en razon de los números impares, 1, 9, 5, 7, *&c.*

Los espacios corridos en el descenso, están en razon del cuadrado de la velocidad.

En dos planos igualmente inclinados, los espácios están en razon de los cuadrados de los tiempos.

La velocidad en dos planos de una misma longitud está en razon de sus alturas.

Porque segun fuere esta mayor ó menor; así será la inclinacion del plano.

En planos de diversa longitud las velocidades en un mismo tiempo estarán en razon de los cocientes de las longitudes divididas por las alturas.

Para demostrar con esperimentos las doctrinas sobre el descenso oblicuo en los planos inclinados, puede usarse del aparato que presenta la figura 38

donde *a b* es un alambre grueso que permanece tirante por el peso *d*, pasando sobre una polea que se halla en *a*. Se usa del peso *d*, y no se fija el alambre ni se pone tirante por medio de algun tornillo por que entónces dando de sí dicho alambre sería preciso á cada instante estarle comunicando nueva tirantez, lo que hace constantemente el peso *d* que siempre se procura sea considerable para que el alambre no tenga vibraciones. El cuerpo *c* es un globo de marfil, ó si se quiere de acero, pero hueco y que corre facilmente por el alambre. La lámina *n* se fija al mismo alambre por medio de un tornillo de presion en *s*. Dispuesto el aparato en estos términos, si colocamos la lámina *n* frente al número 2, soltando el cuerpo *c*, se observa por un péndulo el tiempo que aquel gasta para llegar á la lámina *n*; lo cual es muy facil, pues basta mirar el péndulo supuesto que el globo *c*, luego que dé el golpe en la lámina ha de formar un sonido notable por ser dicho globo de acero. Despues se coloca la lámina á distancia 4, y soltando el globo desde la primera altura se advierte que llega en un tiempo doble del primero. Luego se pone á la distancia 9, y llega el globo en tres tiempos. Es claro que con este aparato pueden demostrarse las doctrinas que acabamos de establecer acerca del descenso oblicuo.

"*En el mismo tiempo en que el móvil con descen-*
"*so libre correría toda la altura del plano* a m
"(*Lám.* 1, *fig.* 39,) *llegará sobre el plano á aquel*
"*punto en que termina la perpendicular tirada al*
"*plano desde el punto* m, *que es el mas bajo de la*
"*línea que representa la altura.*"

Segun hemos demostrado, la diagonal de un paralelógramo se corre en el mismo tiempo que cualquiera de sus lados si el cuerpo se abandonara á una sola fuerza; mas la altura *e m* puede conside-

rarse como diagonál del paralelogramo *a e m o* y por consiguiente se correrá en el mismo tiempo que cualquiera de las lineas *ae me* ó sus paralelas; luégo un cuerpo descenderia hasta el punto *e*, donde termina la perpendicular tirada del punto mas bajo de la altura *a m*, en el mismo tiempo en que hubiera decendido por dicha altura.

Aunque es cierto que al descendêr un globo por la linea *a m* no va impelido por dos fuerzas pues solo le conduce la de gravedad, y hablando con todo rigor no puede aplicarse á este descenso la doctrina de composicion de fuerzas: sin embargo los efectos son identicos y el calculo es exâcto. La verdadera composicion de fuerzas se dá en la linea *a e* pues en ella concurren la resistencia del plano y la gravedad, que tratan de destruirse mutuamente, de modo que la linea *a m* en realidad espresa una de las fuerzas componentes, resultando segun las mismas doctrinas sobre la composicion de fuerzas, que debe correrse en el mismo tiempo que la linea *a e* que supondremos diagonal de un paralelógramo.

En el mismo tiempo en que un móvil desciende por todo el diametro, correria cualquiera de las cuerdas del mismo circulo tiradas desde el estremo de dicho diametro.

Esta doctrina se deduce claramente de la anterior, pues la linea *ma* puede considerarse como diogonál no solo del paralelógramo *a e m o* sino tambien del paralelogramo *a i m n* y de otros muchos que pudieran inscribirse en el mismo circulo tirando varias cuerdas desde los estremos del diametro; luego todas estas cuerdas se correrian en un mismo tiempo, esto es en el que emplea el móvil en descender por la linea *m*.

Para demostrar esto con esperimentos puede usarse del aparato que representa la figura 40. En

el semicirculo *a &c.* se coloca á distintas alturas el pequeño canal *a n* que gira sobre el estremo inferior, y se asegura al semicirculo por medio de un tornillo de presion en la parte superior. En *c* hay un anillo por el cual puede pasar fácilmente un globo cayendo por lá línea *a c*, al mismo tiempo que otro globo semejante corre por el canal y se observa que llegan juntos al punto *a* estremo del diámetro, siempre que los globos sean iguales, aunque el canal se suspenda mas ó menos.

Del movimiento de los pendulos.

Por *pendulo* entendemos un cuerpo suspendido por un hilo, que fijo por la otra estremidad, sirve como de rádio para describir dicho cuerpo un arco en su movimiento. Se llama *oscilacion* de un péndula cada uno de sus movimientos en describir dicho arco.

Debemos advertir en un pendulo: 1º. el punto fijo, 2º el hilo, que considera como sin gravedad, 3º el punto de quietud, en que permanece el cuerpo concluidas las oscilaciones, en cuyo caso, la linea que forma el hilo es perpendicular al orizonte, y dicha línea se llama longitud del péndulo, 4º el eje de la oscilacion, que es una linea perpendicular á el hilo del péndulo, cuando éste está en quietud tirada sobre el punto fijo. La razon es porque se supone que el hilo y el cuerpo se mueven al rededor de esta línea como sucede en una rueda con sus rádios respecto del eje.

El pendulo debe ascender por la parte opuesta á la misma altura de que ha descendido, describiendo un arco igual, sino hubiera resistencia de medio.

Porque en el descenso ha tenido un movimiento acelerado como hemos dicho tratando de la gra-

vedad. Pero el ascenso es en sentido contrario, y por consiguiente ha de ser uniformemente retardado en razon de las aceleraciones del descenso: luego la altura á que sube ha de ser la misma que aquella de donde bajó. Dijimos quitada la resistencia de medio, porque esta detiene algo al cuerpo, y hace que las oscilaciones vayan siendo cada vez menores siendo así que en el vacío, prescidiendo de la resistencia del hilo en el punto fijo, se movería el pendulo eternamente con vibraciones iguales.

Las oscilaciones de los pendulos de igual longitud y peso, se hacen en un mismo tiempo; aunque sean unas mayores que otras.

Las cuerdas de un mismo círculo; aunque sean desiguales se corren en un mismo tiempo segun hemos dicho; mas siendo una misma la longitud del péndulo es uno mismo el diámetro, del círculo cuyos arcos se describen: luego &c.

Algunos afirman que aunque las oscilaciones son fisica, y sensiblemente iguales; no lo son geométricamente. Se fundan en que los arcos no son matemáticamente iguales á sus cuerdas, y en la demostracion se han substituído unos por otros.

Me parece que esta razon no basta; pues aunque es cierto que los arcos son mayores que las cuerdas, este exceso es proporcional, y los arcos son entre sí como las cuerdas, de manera que siempre nos queda la misma proporcion.

Un cuerpo descendería por un espacio igual á 8 longitudes del péndulo, en el tiempo en que éste hace una vibracion.

" El péndulo desciende en un tiempo, y asciende en otro igual: el espacio por el cual bajaría el grave libremente en la primera semivibracion será todo el diámetro ó una longitud dupla del péndulo: en la otra semivibracion, esto es, al subir correría

libremente en el descenso tres diámetros por la ley de la aceleracion, segun los números 1, 3, 5, &c., luego los espacios corridos por el movil cayendo libremente en el mismo tiempo que el péndulo concluye una oscilacion entera, serán 4 diámetros ú 8 longitudes del péndulo.

Para que el tiempo de oscilacion sea duplo, la longitud del péndulo debe ser cuadrupla.

"Porque el grave que en el primer tiempo bajó una vara, en dos tiempos bajará 4: luego si en un solo tiempo desciende un diámetro, en doble tiempo desciende 4 diámetros. Mas el tiempo del descenso por la cuerda, ó de la semivibracion primera es el tiempo del descenso por el diámetro: luego el diámetro debe ser cuadruplo para que el tiempo de la semivibracion sea duplo: y consiguientemente la longitud del péndulo debe ser cuadrupla; para que su tiempo sea duplo.

"De aquí podemos cónocer cuanto espacio correría un grave descendiendo líbremente en un minuto segundo; pues se puede aumentar mas y mas la longitud del péndulo hasta que en un minuto dé 60 vibraciones: lo cual hecho, daba una vibracion en cada uno de los minutos segundos. Y así el grave descenderá en un minuto segundo 8 longitudes del mismo péndulo; es á saber, quince pies y medio del Rhin, atendida la resistencia del medio.*

De los obstaculos del movimiento y de la necesidad del vacio.

Todo cuerpo que se mueve lo hace atravesando algun fluido, ya sea el aire, ya el agua &c., y la resis-

* Esta demostracion y la anterior, estan sacadas de la fisica esperimental de Almeyda.

tencia que esperimenta se llama de *medio*. Asi mismo va aplicando su superficie á la de otro cuerpo, como el globo que corre por un plano y ésta se llama resistencia de *friccion*. Es de dos clases: 1ª cuando una misma parte del móvil va rosando con diversas partes del plano como cuando se arrastra un madero: 2ª cuando diversas partes del móvil van tocando diversas partes del plano, lo cual sucede en la rotacion.

1ª *La resistencia de medio sigue la razon de su densidad.*

Pues cuanto mas denso es el fluído, mas fuerzas se necesitan para desalojarlo.

2ª *La resistencia de medio está en razon de la superficie que presenta el móvil.*

3ª *La resistencia de medio sigue la razon de su coherencia.*

4ª *Esta resistencia varia segun la figura del móvil*, porque esta facilita ó dificulta su separacion.

5ª *La resistencia de medio se aumenta en razon de los cuadrados de la velocidad del móvil.*

Pues hemos visto cuando se trató de las *fuerzas vivas* que duplicando la velocidad se duplica la porcion de fluido desalojado, y como este desalojamiento se ha de hacer con velocidad dupla resulta una resistencia cuadrupla.

Es preciso atender igualmente á si el fluido intermedio está en quietud ó en movimiento, pues en este caso si es conforme á la direccion del móvil facilita, y si es contrario retarda su curso.

Tambien debe advertirse en que porcion de fluído se hace el movimiento; pues en un canal muy ancho tiene el agua v. g. mucha mas libertad para escapar del frente del cuerpo que se mueve, que en uno estrecho.

De las doctrinas anteriores se infiere: que la resistencia que esperimenta una superficie plana moviendose en un fluido por una linea perpendicular á ella misma, es igual al peso de una columna del mismo fluido, que tenga por base la misma superficie, y por altura la que corresponde á la velocidad de dicho movimiento.

Supongamos que un circulo se mueve en el agua siguiendo una linea perpendicular á su centro, con dos grados de velocidad, para correr dos varas en un minuto: la columna desalojada tendrá por base el mismo circulo y por altura dos varas. Si solo debiera separarse el agua con un grado de velocidad, bastaria graduar el peso de esta columna para conocer la resistencia, pero al agua debe imprimirsele dos grados de velocidad para lo cual se necesitan cuatro de fuerza; luego la resistencia sera igual á $4 \times 2 = 8$: esto es al espacio corrido que son dos varas, multiplicado por el cuadrado de la velocidad dos que es cuatro. Diremos pues que la resistencia total que vence dicho círculo es igual al peso de una columna del fluido que tenga por base al mismo circulo y por altura ocho varas.

Si distintos planos se mueven en diversos fluidos con diversas velocidades, la resistencia estará en razon compuesta de los mismos planos de los cuadrado de las velocidades de las densidades, de los fluidos, y de su viscosidad. Se formara pues el computo, respecto de cada uno multiplicando su area por el cuadrado de la velocidad, y despues se compararán atendidas las densidades y viscosidades de los fluidos.

Por lo que hace á las fricciones, sabemos que las de la primera espécie retardan mucho mas el movimiento que las de la segunda: porque el móvil tiene que ir quebrantando las prominencias de la superficie del plano sobre que se mueve y tambien las suyas.

Esta es la razon porque se gasta mucho mas, y aliza un cuerpo metálico rozándolo con una piedra, qué si le hiciéramos dar vuelta sobre élla. Este es tambien el motivo porque se detiene en gran manera el movimiento de un carruage, atando una de sus ruedas en términos, que pierda la rotacion.

El peso aumenta igualmente dicha resistencia, y aun está probado que es mucho mayor este aumento que el causado por estension de superficie; costando mas trabajo arrastrar un cuerpo de corta superficie y gran peso, como una barra de metal, que una lámina muy estensa hecha de la misma barra.

Influye tambien lá velocidad con que se hace el rozamiento, y la escabrosidad de las superficies; por que se necesita mayor fuerza para quebrantar las prominencias de la superficie, cuando éstas son mayores, y tambien es mayor la velocidad con que quiere hacerse. Estableceremos una regla que comprehenda lo que hemos dicho en esta materia.

Regla unica. *La resistencia de fricciones está en razon de las superficies, de la escabrosidad, del peso, y de la velocidad, siendo siempre mayor en la primera especie de rozamiento que en la segunda.*

De la doctrina dada sobre los obstáculos del movimiento se infiere la necesidad del *vacío*, esto es, un espacio libre de todo cuerpo. Si todo estubiera perfectamente lleno se moverían los cuerpos en un medio densisimo, y sufrirían unos rozamientos muy considerables, que harían casi imposible el movimiento. Para mover un pie seria preciso mover toda

la matéria que hay desde la superficie de la tierra hasta el fin del universo, pues estando las partes perfectamente unidas nos sucederia lo mismo que cuando se quiere mover un madero de diez varas, que no podrémos hacerle andar una pulgada en una de sus estremidades, sin que avancen igual espacio todas las partes hasta la otra estremidad.

Verdaderamente no entiendo, como se esplica el diverso peso de los cuerpos, si todo está perfectamente lleno; porque si una vara cúbica está enteramente llena de materia, no es capaz de recibir aumento de élla, y si lo recibe, es prueba de que ántes se hallaba con espacios vacíos.

El sistema astronómico sera imposible, si los cuerpos celestes con sus énormes volúmenes se movieran con tanta velocidad por espacio enteramente lleno. Y la naturaleza que es sencilla no parece que admite semejantes implicancias.

Bien sé que los cartesianos ocurren á la sutileza de las partículas para resolver estos inconvenientes; pero el ser las partículas sutiles no quita su estrecha union y el lleno perfecto, que es el absurdo que impugnamos; pues costaría igual dificultad mover un cuerpo, habiendo otro intermedio que ocupase todo el espacio, que estando éste ocupado por muchos cuerpos estrechamente unidos.

Los fisicos han distinguido el *vacio diseminado*; esto es esparcido en pequeñas porciones, del *conservado*, ó agregado en gran cantidad. Muchos impugnan la existencia de este ultimo; mas creo que debe admitirse á lo menos en los espacios celestes, para esplicar cómodamente los fenómenos.

LECCION IX.

Del equilibrio y movimiento segun la naturaleza á los cuerpos, ó mecánica particular.

Equilíbro de los solidos ó Geostática.

Todo cuerpo tiene un punto por el cual si se suspende con un hilo, queda en equílibrio, y este se llama *centro de gravedad*, que no es siempre el de la estension, pues si el cuerpo no es homogéneo aunque sea igual la estension de ambos lados no habrá igual numero de partes y por consiguiente no habrá igual gravedad ni equilíbrio. Es preciso advertir que cuando se dice el centro de los graves, se entiende la tierra, á donde vienen á caer todos los cuerpos sublunares, y así distinguirémos estas espresiones: *centro de gravedad, centro de estension, y centro de las graves.*

PROPOSICION. *Todo cuerpo está en equilibrio, y no se cae mientras está sostenido su centro de gravedad, y al contrario.*

Pues habiendo de ambos lados igual número de partes habrá equilíbrio; y estando sostenido el centro de gravedad no hay fuerza suficiente en las partes sostenidas para vencer á las otras.

De aquí pueden esplicarse fácilmente muchos casos. 1º Un cuerpo de mucho volúmen suele estar sostenido en una base estrecha, como cuando se sostiene un baston en un dedo verticalmente haciéndole guardar equilíbrio, porque se consigue que

el centro de gravedad siempre esté en la línea vertical.

2º Como pueden sostenerse los volatines y maromeros, pues no hacen mas que conservar por las reglar del arte el centro de gravedad.

3º Por que algunos edificios que artificiosamente se han hecho inclinados no caen, pues no es otra la razon, sino que cada una de sus partes tiene sostenido el centro de gravedad.

Debemos atender igualmente al centro del movimiento, porque no siempre es uno mismo que el de gravedad. Cuando se identificaren, el cuerpo conservará la situacion que se le diere porque siempre guardará equilibrio. Si el centro el movimiento esta verticalmente sobre el de gravedad, el cuerpo conservará lá situacion orizontal, pero no otra. Si estuviere verticalmente debajo del de gravedad; el cuerpo conservará equilibrio en la situacion orizontal, pero si le hacemos variar de postura, necesariamente caerá sin que pueda por si solo adquirir su antigua situacion.

Notarémos útilmente sobre el centro de gravedad, que él es quien describe la *linea de direccion*, pues el cuerpo moviéndose procura siempre guardar equilibrio, y presenta á la direccion el centro de gravedad.

De las máquinas que producen ó facilitan el movimiento en los cuerpos solidos.

Entre estas la primera que consideramos es la *palanca* que es de tres especies: 1ª cuando el punto fijo está, entre la potencia, y el cuerpo movido como el punto *r*: (Lám. 1, fig. 41,) 2ª cuando el punto fijo está, en un estremo de la palanca, y la potencia en otro como el punto *a*; (fig. 41,) 3ª cuando el pun-

to fijo está en un estremo de la palanca, y el peso en otro considerando la potencia interpuesta como en la fig. 43.

Segun exediere la distancia de la potencia al punto fijo en las palancas de primera y segunda especie; tanto mas facilitarán el movimiento. Por lo que hace á la tercera especie es casi inútil, aunque sujeta á las mismas reglas.

La razon de estos efectos es que cuanta mayor es la distancia del punto fijo tanto mayor es el espacio que corre la potencia, que el que corre el peso, y como este se hace en un mismo tiempo, son mayores las velocidades, y por consiguiente la fuerza, pudiéndose establecer como.

Principios del aumento de fuerza en las máquinas.

Cuanto mayor es el espacio por donde se mueve la potencia, que aquel por donde se mueve el peso, tanto mas se facilita en movimiento.

La combinacion de las palancas falicita estraordinariamente los movimientos, pues si suponémos que el cuerpo *d* (Lám. 1, fig. 44,) se mueve por la palanca *nt*, que aumenta cuatro veces la fuerza, y que por tanto 1 libra puesta en *n*, equilibre á 4 en *t* advertirémos, que si en lugar de dicha libra ponemos el estremo *a* de la palanca *ab*, que aumenta tambien cuatro veces, y en el estremo *b* ponemos el de otra palanca, que aumenta otras cuatro veces, resultará que una libra puesta en *c* equivaldrá á cuatro por el aumento de lá palanca *c*, y podemos decir que en el punto *b* hay 4 libras de peso, las cuales por la accion de esta palanca *ab* podrán equilibrar á 16 puestas en *a*, y estas por la accion de la palanca *nt*, equilibrarán á 64 en el punto *n*, de donde resulta que 1 libra en *c* sostiene 64 en *t*.

Pero supongámos que en lugar de la combinacion de palancas se establece una sola de la longitud, *tc*, es claro que conservando el cuerpo *d* la misma distancia al punto fijo, el aumento sería doce veces, correspondiendo cuatro al exceso que ahora tiene cada palanca en la distancia de la potencia al punto fijo, respecto de la distancia al centro del peso. Luego resulta que la diferencia entre 12 libras y 64, suspendidas por las palancas combinadas, se debe á dicha combinacion.

La *cuña* es otra máquina sencilla y de mucha fuerza, porque la potencia se mueve por toda la longitud de élla, mientras el cuerpo dividido que equivale al peso, se mueve solo por el espacio de su látitud, de modo que cuanto excede el espacio *tn*, (Lám. 1, fig. 45,) al espacio *bd*, tanto se aumenta la fuerza de la cuña.

Deducirémos por tanto que en esta máquina *cuanto excede su longitud á su base, tanto aumenta su potencia.*

El torno ó cabrestante, que consta de un cilindro donde se va envolviendo la cuerda que tira un peso, y tiene unos brazos, ó aspas por donde se mueve la potencia de los hombres que trabajan; es una máquina de mucha fuerza, y para valuarla *medirémos el diámetro del cilindro, y el que forman los brazos, pues cuanto excede uno á otro, tanto se aumenta la potencia.*

El tornillo es otra máquina de bastante fuerza, porque constando de roscas se verifica que la potencia se mueve por todo el circulo que describiria el hastil horizontal ó mango del tornillo, mientras el cuerpo que se oprime ó el que se suspende socorre la distancia que hay de una rosca á otra, que es mucho menor. Suele usarse este tornillo para levantar enormes pesos haciéndole introducir en

un madero con roscas interiores, y poniéndole unos brazos de gran longitud, porque entónces mientras se introduce una rosca, describe la potencia un gran círculo.

Las ruedas dentadas tienen un gran uso en las máquinas, y su accion se mide lo mismo que la de las palancas, pues si considerámos que el cuerpo *d* (Lám. 1, fig. 46,) se suspende envolviéndose la cuerda en el cilindro, *a* podemos fingir una palanca, cuyo punto fijo esté en *a*, la potencia en *c*, aumentándose tanto, cuanto fuere el exceso de la línea *ac* sobre la línea *an*. Despues considerámos otra palanca *rb* cuyo punto fijo está en *b*, y últimamente la tercera palanca *rs*, tiene su punto fijo en *t* de modo que los tres ejes de las ruedas podemos considerarlos como tres puntos fijos de palancas combinadas, y por consiguiente se graduará el aumento de fuerzas por el método que hemos esplicado en la combinacion de las palancas.

En el plano inclinado se facilita el ascenso de los cuerpos en razon del exceso de la longitud del plano á su altura, y así en el aparato que representa la figura 47, el plano inclinado *ac* facilitará el ascenso del cilindro *b* segun fuere menor la altura *an*, de modo que suspendiéndo mas ó menos por el semicírculo dicho plano, se necesitará mayor ó menor peso en los platillos para suspender el mismo cilindro.

Las carruchas aumentan la potencia, y segun fuere mayor el número de ellas tanto mas se aumentará, porque la potencia se há movido por todo el espacio que comprehende la cuerda que se ha recogido mientras el peso sube un pequeño espacio. Supongamos que el peso *b* (Lám. 1, fig. 48,) se suspende por las carruchas que indica la figura: tendremos que mientras el peso sube un espacio

igual á *cd*, que es decir mientras las carruchas inferiores suben hasta tocar con las superiores; las manos del que tira habrán corrido un espacio igual á toda la cuerda que haya sido preciso recoger. Mas se percibe claramente que esta cantidad de cuerda es cuadrupla de *cd;* luego la potencia ha corrido un espacio cuadruplo que el peso en el mismo tiempo y por consiguiente la velocidad es cuadrupla. Pero las fuerzas estan en razon de los cuadrados de las velocidades; luego en esta combinacion de carruchas se ha aumentado la fuerza 16 veces que es el cuadrado de 4.

En todas las máquinas que se mueven por medio de cuerdas, debe tenerse en consideracion la resistencia de éstas, que influye mucho en minorar el efecto de la máquina. Dichas cuerdas dificultan los movimientos por su *peso, su diámetro y su inflexion*: el peso está en razon directo de su solidez, suponiendo la cuerda de una misma naturaleza y por consiguiente se aumenta como los cuadrados de los diametros. Debe advertirse para graduar el efecto de una máquina en que se emplee mucha cantidad de cuerdas como en las carruchas muy complicadas; que segun vá recogiendo dicha cuerda, se disminuye su peso en la máquina, que producirá sus efectos con mas facilidad por haberse disminuido este obstáculo.

La direccion en que se tira de una cuerda, contribuye á impedir ó facilitar los movimientos de una máquina, por que el peso de la misma cuerda debe ser sostenido por la potencia que opera, y le hace tomar diversas direcciones, debilitando de este modo su esfuerzo. Supongámos que desde la orilla de un rio se tira de un buque por medio de un cable; en este caso formando un seno, resultará que la accion de la potencia se divide, parte elevando el cable en

una direccion oblícua respecto de la superficie del rio y parte, tirando por otra línea oblícua de la proa de dicho buque. Inferirémos que la situacion vertical es la mas favorable para tirar de una cuerda, y la horizontal la mas contraria, por que entónces descarga todo el peso de la cuerda en una direccion vertical que forma un ángulo recto con la del cuerpo que queremos mover.

La inflexion de las cuerdas se opone al efecto de la máquina, porque violenta mucho las fibras, y los rozamientos por esta causa los diámetros de dichas cuerdas sirven de norma para graduar la resistencia, que siempre está en razon inversa de ellos; siendo claro que en una cuerda muy gruesa deben violentarse mas las partes que en una delgada para envolverse en un cilindro ú otro cuerpo semejante.

Los diámetros de los cilindros, ó poleas aumentan la facilidad del movimiento producido por medio de cuerdas, pues disminuyen su inflexion, y al mismo tiempo se puede considerar el rádio de una polea como un lado de una palanca, y si el cuerpo se suspende por medio del eje de dicha polea ú otro cilindro que le corresponda, se aumentará la fuerza por los mismos principios que en las palancas.

La tirantez de una cuerda aumenta su rozamiento, y para demostrar los efectos que provienen de esta resistencia inventó Amonstons el sencillo aparato que representa la figura 49. El cilindro *e* caería naturalmente por su peso que es mayor que el de la tablita *c*, pero la resistencia que hacen las cuerdas que le envuelven impiden que caiga, y es preciso agregar algun peso en el platillo *g*, cuya cuerda está envuelta en sentido contrario al de las otras. Si se coloca un peso en la tablita *c* verémos que no basta poner otro igual en el platillo *g* para conseguir que descienda el

cilindro, sino que es preciso agregar mucho mas peso, que venza la nueva resistencia producida por la tirantez de las cuerdas, y si sucesivamente se van aumentado los pesos en c y en g, se verá que no corresponden, pues los del platillo g tendrán unos aumentos mucho mas considerables. Poniendo en este aparato distintas cuerdas y distintos cilindros, se han hecho repetidos esperimentos de los cuales resulta, que la *resistencia que proviene de la tirantez de las cuerdas está en razon compuesta de la directa de las fuerzas que estiran, de la de los diámetros de dichas cuerdas, y poco mas ó menos de la inversa de los diámetros de los cilindros en que se envuelven.*

TABLA

De los resultados obtenidos por Amonstons, habiendo empleado cilindros y cuerdas de diverso diametro, cargados con distintos pesos.

Pesos sostenidos por las cuerdas, espresados en Kil...	*Resistencia de las cuerdas envolviendo un cilindro de*			*Relacion del grueso de las cuerdas*
	16 mil.	*32 mil.*	*48 mil.*	
	135	174	90	3
29,34.....	90	76	60	2
	45	38	30	1
	90	76	60	3
19,56...,	60	50,6	40	2
	30	25,3	20	1
	45	38....	30	3
9,78	30	25,5	20	2
	15	12,6	10	1

TABLA

De los resultados obtenidos por Desaguliers, en experimentos semejantes.

Pesos sostenidos por las cuerdas, espresados en Kilog.	*Resistencia de las cuerdas envolviendo un cilindro de*			*Relacion del grueso de las cuerdas.*
	16 *mil.*	32 *mil.*	48 *mil.*	
29,34.....	225	112,5	75	5
	90	45	30	2
	45	22,5	15	1
19,56.....	150	75	50	5
	60	30	20	2
	30	15	10	1
9,78.....	75	37	25	5
	30	15	15	2
	15	7,5	5	1

Hidrostatica,

ó equilibrio y presiones de los líquidos.

Hemos dicho que líquido es un cuerpo cuyas partículas tienen poco enlace entre sí, se mueven facilmente, y ponen la superficie á nivel ó paralela al orizonte. Debemos considerar ahora detenidamente la causa de estos efectos, y nos bastará la facilidad de su movimientos para concebir que sus columnas operan separadamente á distincion de los solidos, en los cuales una partícula no puede movérse sin llevar tras sí las otras. Resulta, pues, que las columnas de los líquidos, deben tener igual altura, porque no siendo así caería la mas alta, no teniendo un peso que la equilibrara. La columna *ab* (Lám. 2, fig. 1,) ejerciendo toda su fuerza sobre la última partícula *b*, estará perfectamente sostenida siempre que haya un obstáculo como en un vaso, que retenga dicha partícula sin que se escape á uno ú otro lado; pues á no ser así, sería preciso que la série de partículas conservara una situacion perfectamente vertical, no interrumpida por ningun movimiento contrario, lo que es imposible atendida la movilidad del líquido. Pero supongamos que la partícula *b* hace un esfuerzo contra la partícula *n*, y ésta suspende las otras de la misma columna; en este caso irán descendiendo las partículas de la columna *ab* hasta que en la columna *nr* haya un número igual que contrapese, oprimiendo tanto la partícula inferior que quedare en *n*, cuanto esté oprimida la que se hallare en *b*; luego en una y otra columna habrá igual número de partículas, y el líquido quedará nivelado á la altura *rs*, y como esto mismo puede decirse de una infinidad de columnas que se supongan; se deduce que: *sea cual fuere la*

estension de un recipiente que contenga un liquido, la superficie de ésta se hallará perfectamente nivelada. Inferimos asimismo que: *cada columna hace su presion en el fondo independientemente de las otras*, y que la columna 1, (Lam. 2, fig. 2,) gravita sobre *ac*, la 2 sobre *cd*, &c. esperimentando la parte *cd* la misma presion, ya sea que exista solamente la columna 3, ó se agregue la 4, ó una série infinita de columnas.

Se deduce igualmente que: *en un mismo líquido se nivela una gran cantidad con una muy pequeña*, y así en el recipiente *d* (Lam. 2, fig. 3,) estará el agua á la misma altura que en *e*, aunque ésta columna sea muy pequeña y la otra muy grande; pues podemos representarla dividida en diversas columnas semejantes á *c* y equilibradas con ella como si fuera todo un receptáculo de agua, y hubiera una série de columnas todas iguales, como represéntan las lineas de puntos.

Tambien deducimos que: *los líquidos hacen presiones iguales hácia todas partes, siempre que sea una misma la altura de las columnas superiores al punto en que se hacen dichas presiones*, pues en este caso tendrán un mismo número de partículas superiores que oprimen, y como todas las del líquido están sueltas, harán igual esfuerzo para escaparse por todas partes.

Estas nociones nos conducen á demostrar facilmente que: *las presiones de los fluidos en los fondos de los vasos, siguen la razon del diametro de estos y de la altura de las columnas sea cual fuere la figura de dichos vasos.* Supongamos que los fondos de los vasos *a*, *b*, *c*, *d*, (Lám. 2, fig. 4,) son iguales y que se llenan de agua hasta la altura que presentan las líneas de puntos, que es una misma en todos éllos. En este caso el fondo del vaso *a* es-

perimentará el peso de un cilindro de agua enteramente igual al cilindro *b* del segundo vaso, y en el tercero, las columnas de agua interrumpidas por la superficie superior del vaso, harán un esfuerzo en *a* y en *e* igual á la presion de la columna del medio y por consiguiente harán una especie de retroceso, oprimiendo el fondo del vaso con la misma fuerza que lo oprimirian si todas las columnas fueran de una misma altura, como representan las líneas verticales. En el vaso *d* sucederá un efecto semejante, pues la columna *d n* se halla equilibrada con todas las que se contienen en el triángulo *dnt*, y dicha columna oprime á la inmediata y sucesivamente á todas las contenidas en el triangulo *dsn*, haciendo que opriman el fondo *sn* con la misma fuerza que si tuvieran otra cantidad de agua superior *drs*, que es un triángulo igual á *dnt*, y por consiguiente la presion en el fondo será tambien igual.

Estas doctrinás se han confirmado por la esperiencia, pues construyendo vasos cuyos fondos sean iguales, y movedizos como unos embolos, se ha hecho ver en una balanza que necesitaban un mismo peso para equilibrarse cuando era una misma la altura del líquido. Segun representa la figura 5, *n* es el embolo ó fondo movedizo, y el vaso se supone descansando en una mesa para que su peso ni el del agua lateral entre en cuenta respecto de la balanza que solo indicará el peso del agua en *n*. Si en lugar de este vaso ponemos cualquiera de los otros que representa la figura anterior dará el mismo resultado el esperimento, y para esto se procura que sea uno mismo el embolo para que no haya mas ni ménos resistencia al movimiento, y asi estos vasos son separables y sin fondo para adaptarlos al cilindro que contiene el embolo *n*, y de este modo quedan todos con un mismo fondo.

De lo espuesto se infiere claramente la razon de algunos efectos que parecen unas paradojas hidrostasticas, pues se observa que una corta cantidad de agua se equilíbra con un peso infinitamente mayor que el suyo. En la figura 6, lam. 2. *a* es una especie de fuelle perfectamente construido en términos que puede contener agua sin que por ningun esfuerzo pueda salirse por ninguna de sus costuras; *cd*, es un tubo que sirve para llenar de agua dicho fuelle, en cuyo caso puede colocarse un peso de 4 ó 6 arrobas en *n*, y serán suspendidas por una corta cantidad dé agua que se agrega cual es la que cabe en el tubo *cd* que sin duda será poco mas de una libra. Esto proviene de que las columnas de agua contenidas en el fuelle hacen una presion hácia arriba en la tabla *n*, igual al peso de un cilindro de agua, de la altura del tubo como presentan las líneas de puntos, y por consiguiente si el peso que colocamos en *n* no es tanto como el de dicho cilindro, vencerá el agua y suspenderá el peso. Inferirémos de aquí que por medio de un tubo muy alto podría suspenderse un peso considerable, y que estas nociones pueden ser de mucho uso en infinitos casos.

Por la misma razon se observa que el cilindro *b* (Lám. 2, fig. 7,) flota en el recipiente *an* con una corta cantidad de agua, que sin duda no equivale al peso de dicho cilindro; porque las columnas laterales *na*, *ar* dan una fuerza de suspension á las que estan debajo del cilindro, igual al peso de un cilindro de agua del tamaño que indica la línea de puntos, y este cilindro tendria tanto peso como el de madera *b*.

De los sólidos sumergidos en los liquidos.

Del equilíbrio que deben guardar las columnas de los líquidos, se infiere que cuando un solido se

sumerge en ellos, si pesa tanto como un volúmen igual del líquido podrá quedar en cualquier situacion que se coloque, pues si el sólido *n* (Lám. 2, fig. 8,) equivale al peso del agua que debia estar en el espacio que él ocupa, la columna *nt* se hallará compuesta de agua y del sólido, y sin embargo tendrá el mismo peso que la columna *sh* ó cualquiera otra, y será indiferente que el sólido *n* se halle en la parte superior ó en el centro de la columna, pues siempre el peso total de ella, ha de ser uno mismo; pero si el sólido pesa menos que un volúmen igual del líquido, quedará parte fuera de él como se advierte en la columna *b*, donde se supone que un volúmen de agua igual á la parte sumergida pesaría tanto como el cilindro *p*, y así la columna compuesta de este cilindro y de toda el agua inferior pesará tanto como la inmediata *bd*. Cuando el sólido pesa mas que un volúmen igual del líquido, seguramente vá á fondo.

Para demostrar que la cantidad de líquido desalojada pesa tanto como el mismo sólido que la desaloja se introduce el globo *v* (Lám. 2, fig. 9,) en el agua que se supone á la altura *st*, y segun que se sumerge, vá saliendo el agua por el conducto *n*, de modo que en el vaso *d* se recibe toda la cantidad desalojada en la inmersion del globo, que puesto en una balanza pesa tanto como el agua contenida en el vaso *d*.

Si el globo *v* pesa mas que un volúmen igual del líquido se sumergirá y sosteniéndolo pendiente de una balanza para que no llegue al fondo del recipiente, se observará que la balanza pierde el equilíbrio pesando ménos el globo que su contrapeso, mas se restablecerá dicho equilibrio luego que se agregue al platillo que sostiene al globo, la cantidad de agua desalojada que se halla en el vaso *d*.

Para esto conviene que la balanza en lugar del platillo tenga un vaso capaz de recibir el agua, y que del fondo de dicho vaso esté pendiente el globo, pues así se equilíbra el contrapeso con el vaso y el globo, el cual luego que se sumerge pierde de su peso y es muy facil agregar el del agua desalojada echandola en el vaso de la balanza.

Estas esperiencias han servido para la construccion de los *Areométros** ó *Pesalicores* que representan las figuras 10, 11, y 12. Comunmente se forman de cristal y huecos, echándoseles en la parte inferior un poco de azogue para que sirva de lastre, y puedan sumergirse hasta cero introduciéndolos en el agua destilada.

Supuesto que un sólido pierde tanto de su peso, cuanto fuere el de un volúmen de líquido igual á la parte sumergida, y que solo se da equilíbrio cuando el sólido y la columna inferior del líquido igualan á las otras, es claro que mientras mas ligero sea dicho líquido mas se sumergirá el areométro, porque necesitará desalojar mayor volúmen de líquido para que iguale en peso al suyo; luego por los grados de inmersion que indicare la escala puesta en el cuello ó tubo del areométro, se podra saber el peso relativo de los líquidos, ya entre sí, ya respecto del agua destilada. Tambien puede averiguarse con este instrumento el peso relativo de los sólidos, pues colocando en el platillo del areométro que representa la figura 12, un volúmen determinado de un sólido, se observan los grados de inmersion que adquiere el areométro, y poniendo despues un volúmen igual de otro cuerpo, se advierte si se sumerge mas ó ménos y por estas diferencias se saca la rela-

* Esta palabra Areométro quiere decir medida de pesos pequeños.

cion del peso específico de dicho sólido. Algunos han llamado á este instrumento *gravimetro.*

Para el mismo efecto suele usarse de la *balanza hidrostática*, que es una balanza comun muy exacta y que tiene en el fondo de uno de sus platillos por la parte esterior, un gancho que sirve para colgar por medio de unas cerdas de caballo, un sólido de cristal que regularmente se le dá la figura de una pera ó de un cono. Equilibrada la balanza con dicho sólido en el aire libre, se hace bajar por medio de un tornillo, hasta que el sólido entre en un vaso que contiene el líquido que se quiere pesar. Dicho sólido en este caso pierde de su peso lo que pesaría un volúmen igual del líquido, y por consiguiente se pierde el equilíbrio de la balanza; y es preciso quitar algun peso del platillo contrario ó agregar al que sostiene al sólido sumergido, para que se restablezca el equilíbrio, y este nuevo peso adicional indica el de un volúmen del líquido semejante al del sólido que se ha sumergido. De aquí se infiere que si es diverso el peso de los líquidos que se vayan echando sucesivamente en el vaso, como el sólido de cristal es uno mismo, darán diversas indicaciones ó se necesitarán diversos pesos para equilibrar la balanza, y de este modo se sabrá el peso relativo de los líquidos, y tambien el de los sólidos, si se sumergen en un mismo líquido, poniendo en lugar del sólido de cristal otro de la materia cuyo peso específico quiere averiguarse.

De las máquinas que facilitan el movimiento de los líquidos.

Entre las máquinas inventadas para facilitar el movimiento de los líquidos las mas comunes y útiles son las bombas que sirven para elevarlos. Estas se

construyen de tres modos llamándose *bombas aspirantes, comprimentes* y *mistas*. La figura 13 presenta una bomba aspirante, que se supone sumergida en el agua, hasta *nt* y que tiene una válvula en *b*, la cual puede abrirse cuando el agua empuja hácia arriba, pero que de ningun modo dejará bajar el agua que hubiere subido, pues el peso de ésta oprimirá dicha válvula haciéndola que cierre fuertemente. El embolo *d* tiene otra válvula en *c*, que igualmente se abre para dejar subir el agua, mas no permite que descienda. La construccion de esta bomba indica claramente que suspendiéndose el embolo por ejemplo hasta *rs*, forma un vacio en todo el cuerpo de la bomba hasta dicha altura, y entónces las columnas de aire que gravitan en *a* y en *b*, oprimiendo al agua la harán subir por el tubo, y levantándose la válvula *b* se llenará de agua el cuerpo de la bomba, mas despues bajando el embolo que oprime el agua, se cierra la válvula *b*, y se abre la del embolo *e*, subiendo toda la cantidad de agua sobre el embolo. Despues continuando la operacion volverá á subir otra cantidad de agua hasta que la porcion que se encuentra elevada sea bastante para que empiece á salir por el conducto *h*.

El modo de operar de esta bomba se demuestra en el esperimento del ascenso del agua en el vacio, pues si se estrae el aire del recipiente *b* (Lám. 2, fig. 14,) y adaptamos á la llave que sirvió para estraerlo un tubo de bronce *ac*, que entre en el agua que contiene el vaso, segun representa la figura, se observará que abriendo la llave sube el agua con mucha fuerza, formando un chorro que muchas veces va á dar á la parte superior del recipiente, aunque tenga dos ó tres pies de altura. Este efecto se produce como en el tubo de Torricelli, por las presiones del aire en el líquido contenido en el vaso; y

podemos considerar al recipiente *b* como el cuerpo de la bomba que representa la figura anterior, y que queda vacío cuando se suspende el embolo, en terminos que es una misma la razon porque sube el agua en ambos casos.

La bomba de compresion representada por la figura 15, se supone sumergida en el agua hasta *cd* tiene una válvula en *a* que se abre hácia arriba, y otra en el embolo *n* que se abre hácia abajo y que por consiguiente puede dejar pasar el agua de la parte *r* á *n*, pero no al contrario. Luego que se baja el embolo, cerrada la válvula *n* se halla el agua oprimida, y suspende la válvula *a* subiendo hácia *d*. Suspendiéndo nuevamente el embolo, debería quedar un vacío debajo de él, porque el agua contenida en *ad* no puede ya bajar por cerrarse la válvula *a*; pero entónces el agua que se halla en la parte *r* abre la válvula *n*, y vuelve á llenar la bomba; de modo que continuando el embolo en su movimiento llega a pasar tanta cantidad de agua á la parte *ad* que empieza a salir por el conducto *h*, y asi puede elevarse el agua á una gran altura por medio de esta bomba, que se llama de compresion, pues el embolo no hace otra cosa que comprimir sucesivamente el agua obligandola a que pase por la válvula *a*, hasta llenar el cuerpo de la bomba *ha*.

La bomba mista se compone de las anteriores, segun representa la figura 16, en donde se observa el tubo aspirante *s*, y la válvula *b* como en la bomba aspirante (Fig. 13,) y al mismo tiempo la válvula *a* y el segundo cuerpo de bomba como en la de compresion (Fig. 15,) Esta bomba mista opera suspendiendo primero el agua por el tubo aspirante *s*, cuando se eleva el embolo, y despues al descender cierra la válvula *b* y abre la válvula *a* suspendiendo

el agua al segundo cuerpo hasta que empieza á sali por el conducto *h*.

Otra de las máquinas inventadas para la elevacion del agua ó de otro liquido cualquiera, es el *ariete* ó *carnero hidraulico* (Lám. 2, fig. 17,) que consta de un depósito de agua *u*, que la transmite por el conducto *d*, y llegando con fuerza al globo *r* lo suspende y cierra el conducto *a*, en cuyo caso retrocede el agua, é introduciéndose por el tubo *t* suspende al globo *h*, y pasa al recipiente *p*, ayudando á este efecto la cantidad de aire que se queda comprimida y cerrada en *i*, pues luego que el agua pierde su primer impulso, en el retroceso el aire puede ejecer toda su fuerza de dilatacion sucesivamente. Mas el aire que se comprime en *p*, dilatandose nuevamente hace bajar el globo *h*, cierra el conducto y despide el agua por el tubo ascendente *q*. Sucede este efecto subiendo y bajando los globos *h* y *r*, y continúa la elevacion del agua hasta una altura considerable, que será mayor ó menor segun la disposicion del recipiente *n* y el conducto *d*, ó por mejor decir segun la cantidad de agua que corra por este conducto, y la velocidad de su curso. Se le ha dado el nombre de carnero hidraulico, por los continuos golpes que dá el agua, retrocediendo y avanzando á semejanza de la cabezada de un carnero. Montgolfier lo inventó y puede verse su descripcion en la Fisica de Beudant, pág. 253.

El *gusano de Archimedes* consta del cilindro *a b* (Lám. 2, fig. 18,) que gira sobre un eje en *t*, por medio del manubrio *m*. En este cilindro está enroscado un tubo como presenta la figura, y se mantiene en una direccion mas ó menos oblicua, segun quiera colocarse. Dando vuelta al manubrio, el agua que se encuentre en *e* sube a la parte *d* y por su gravedad deciende a *n*; despues por otra vuelta del cilin-

do, asciende á *p* y desde este punto baja al suelo inmediato. Continuando estos movimientos, se logra que el agua suba hasta la altura *h* ó a otra mayor segun la estension del cilindro. Esta maquina suele ser de alguna utilidad en vários casos, aunque su uso ya no es muy frecuente, por depender el juego de ella de la inclinacion que se dé al cilindro; pues mientras mas se acerque á la vertical menós opera, y tambien sirve de obstáculo la gran cantidad de agua suspendida, si se dá mucha estension á dicho cilindro.

El *sifon* es uno de los instrumentos mas cómodos y mas usados para pasar los liquidos de un depósito á otro. El lado *ab*, (Lám. 2, fig. 19,) se introduce en el liquido, y estrayendo el aire por la parte *c*, sube el liquido por la presion de las columnas de aire que gravitan en su superficie, segun se dijo hablando del tubo torriceliano. Luego que llega á la altura *b*, empieza á descender y se consigue que todo el liquido pase de un recipiente a otro. Un lado del sifon siempre es mas largo que el otro, pues si fueran iguales cortandola en el punto *n*, tendríamos dos columnas de agua *nb*, y *ba*, exactamente iguales, y como el aire haría una opresion en el punto *n* igual á la que hace sobre la superficie del liquido en el otro estremo, resultaria un equilibrio, y no saldría el liquido en caso de ser muy estrecho el tubo, y siendo ancho se introduciria el aire y haria caer todo el liquido por la parte *a*, como sucede en el tubo de Torricelli, luego que se le introduce el aire en la parte superior. Siendo el lado *bc* mucho mas largo que el opuesto, se consigue que no haya equilibrio, y que esté siempre descendiendo una gran columna del liquido con tal fuerza que el aire no pueda introducirse.

En las fuentes artificiales se verifica la elevacion del agua por medio del aire, como se manifiesta en la fuente llamada de Hieron, (Lám. 2, fig. 20.) Esta se llena de agua por el tubo *d* hasta tres cuartas partes de su capacidad, y descendiendo el agua al recipiente inferior, empieza á oprimir el aire. Este sube por el tubo *n*, á la parte *c*, oprime la superficie del liquido, le hace salir por el conducto *e*, y como vuelve á caer al fondo en que se halla la abertura del tubo que va á dar al recipiente inferior, continúa en sus opresiones y es constante la salida del agua, hasta que se llene el recipiente inferior ó quede vacio el superior, en cuyo caso se abre la llave puesta en *b*, ó se introduce una cantidad de agua en el recipiente superior.

Del movimiento de los liquidos por faltarles el equilibrio.

Luego que un liquido contenido en un recipiente deja de encontrar obstaculo que le sostenga, es sabido que faltándole el equilibrio sále por aquella parte con mas ó ménos velocidad segun la altura de las columnas verticales del mismo liquido. El conducto por donde sale se llama *luz*.

Los recipientes pueden considerarse en dos estados, 1º con una cantidad constante de liquido siempre á una altura, de modo que adquieren por una parte lo que pierden por otra, 2º como vaciandose gradualmente. Para distinguir estos estados, dirémos depósitos *constantes* é *inconstantes*.

La cantidad de liquido que sale de un depósito constante, es como el producto del cuadrado del diámetro de la luz, multiplicado por la raiz cuadrada de la altura del liquido sobre el centro de dicha

luz. Supongámos que del recipiente *a*, (Lám. 2, fig. 21,) salen por la luz *n* muchos cilindros de agua cuya longitud deba medirse por el tiempo de un segundo, de modo que si el agua formara un sólido y estubiera saliendo un segundo, tendriámos uno de estos cilindros. Claro está que siendo uno mismo el tiempo, mientras mayor sea la velocidad con que salga el agua, tanto mas largo será cada uno de estos cilindros, cuya base es una misma, porque se identifica con la luz del depósito. De aquí inferimos que la masa de agua que sale en un tiempo dado, es como el cuadrado del diámetro de la luz, multiplicado por la velocidad ó por la longitud del cilindro, pues estas cosas son proporcionales y así: $m=d^2l=d^2v$.

La velocidad es como la raíz cuadrada de la fuerza que se emplea en comunicarla, pues consta (segun se dijo tratando de la fuerza de los cuerpos en movimiento,) que para producir velocidad 2 se emplean fuerzas 4, para una velocidad 4 fuerzas 16, &c. Inferimos, pues que siendo la altura del líquido la causa ó fuerza que le obliga á salir y le comunica la velocidad, debe esta ser como la raiz cuadrada de dicha altura, y dirémos que la cantidad de líquido es igual á $d^2\times\sqrt{a}$.

Todos los puntos de la luz están á diversa distancia de la superficie del líquido, y hablando con exactitud, no puede decirse que están igualmente oprimidos, si sale el líquido por ellos con igual velocidad. De aquí resulta que para hacer en el cómputo una compensacion en la diferencia de velocidad, se toma un término medio que es el centro, y se considera todo el líquido como saliendo por él, y de este modo se rebaja tanto á la velocidad de una parte cuanto se aumenta de otra. Por esta razon se empieza á contar la altura desde el centro de la luz.

Los esperimentos confirman la doctrina que acabamos de esponer, pues con 9 pies de altura salieron por una luz de 1 pulgada de diámetro, 8135 pulgadas cúbicas de agua en un minuto, y con la altura de 4 pies, salieron por la misma luz 5436. Las raíces de 9 y 4 son 3 y 2, las cantidades 8135 y 5436, son sensiblemente como 3 : 2, y aunque hay alguna diferencia en estas razones, debe atribuirse á otras causas que impiden la exactitud.

Mariotte esperimentó que en un depósito constante de 13 pies de altura abriendo una luz de tres líneas cerca del fondo, salian catorce pintas, ó 672 pulgadas cúbicas de agua en un minuto. Este esperimento sirve para graduar la cantidad que saldría en otro depósito en distinto tiempo. Si queremos saber la cantidad de agua que saldría en seis minutos dirémos $1 : 14 :: 6 : x$. Si la luz es de 10 líneas pondrémos los cuadrados de los diámetros 3 y 10 que son 9 y 100 y será $9 : 14 :: 100 : x$, y se tendrá el agua que sale en un minuto. Siendo la altura 25 pies, dirémos $\sqrt{3} : 14 :: \sqrt{25} : x$. Si el tiempo es de cuatro minutos, la luz de cinco líneas y la altura de 36 pies será $1 \times 9 \sqrt{13} : 14 :: 4 \times 25 \times \sqrt{36} : x$.

En los depósitos inconstantes se gradua la salida de los líquidos atendiendo á las diminuciones sucesivas de la altura, y está probado que en el descenso del líquido lo mismo que en los sólidos, la aceleracion del movimiento es como la série de los números impares 1, 3, 5, 7, &c. y como en este caso por faltar sucesivamente cantidades de agua, el movimiento es uniformemente retardado, dirémos que en sentido inverso deben graduarse estas cantidades en la altura, segun la relacion de 7, 5, 3, 1, &c. y así la cantidad del líquido que ha salido en un tiempo dado v. g. 4 minutos se hallará disminuida en el mismo órden que acabamos de exponer.

Cuando se gradúa el tiempo en que debe vaciarse un depósito *constante* ó *inconstante*, se atiende no solo al diametro y altura, de la luz sino tambien al diámetro del deposito pues crecen las masas del líquido como los cuadrados de dicho diámetro, y es claro que con una misma velocidad y luz, la salida de una cantidad de líquido mayor tardará mas que otra menor, y así el producto del cuadrado del diámetro de la luz por la raíz de la altura, se multiplica nuevamente por el cuadrado del diámetro del depósito.

Debe considerarse que en la práctica, los efectos no son exactamente conformes al cálculo, porque la viscosidad mayor ó menor de los líquidos, la escabrosidad de las superficies del depósito y tambien de la luz ó agugero que se abre para su salida, retardan el movimiento y así mismo se observa que todo líquido cuando sale forma una especie de cono truncado, cuya base está en la luz, de modo que el cilindro de agua que continúa saliendo siempre es de menor diámetro que la luz. La altura de este cono truncado, es poco mas ó ménos igual al rádio de la luz, y se ha calculado que el area de la base del cilindro de agua que efectivamente sale, es á la de la luz como 10 : 16, y esto es preciso tenerlo muy presente y aplicarlo á todos los cómputos de que hemos hablado.

Por este motivo conviene que sea muy delgada la lámina ó costado en que se abra la luz, y que sus bordes estén bien pulimentados. Tambien demuestra la esperiencia que en los surtidores ó caños, la figura ménos conveniente es la cilíndrica, y la mas adaptada es la cónica, arreglandola á las observaciones hechas; esto es que forme un cono truncado, cuya base esté en la luz, y la area del otro estremo sea á la otra base como 10 : 16. Cuando se quiere

que la vena de agua salga con limpieza y uniformidad, se pone una lámina muy delgada en la boca del surtidor para formar en ella un agugero mas pequeño, y que por consiguiente siempre se halle ocupado por el agua, y no pueda causar vibraciones en ella. En un depósito constante, dada una misma luz, las cantidades de agua que salen por una lámina delgada, que no contrae el chorro ó vena, por un caño agregado, y por una lámina ó pared que contraiga el chorro, están entre si sobre poco mas ó ménos, en la relacion de 16, 13, 10.

Por lo que hace á los chorros ascendentes como se observan en las pilas, es preciso tener presente que la presion del aire en todas direcciones, la gravedad del líquido, el choque de las partículas que descienden por faltarles ya el impulso y otras causas accidentales, impiden que se eleven á la altura del depósito. Mariotte observó, que un depósito de 5 pies y una pulgada elevaba el chorro á 5 pies de altura, y otro de 10 pies y 4 pulgadas lo elevaba á 10 pies, de aquí infirió que las diminuciones eran sensiblemente como los cuadrados de las alturas de los chorros, pues $1 : 4 :: 5^2 : 10^2$. Esto puede servir para un cálculo aproximado, mas en la práctica es preciso atender á las circunstancias locales, y no proceder por teorías sino por ensayos.

El movimiento de los rios sigue las mismas leyes de la salida de un líquido por un conducto lateral, y así se mide por la raiz cuadrada de la altura del depósito, ó del orígen del rio, sobre la superficie del lugar en que quiere graduarse la velocidad de las aguas. De aquí inferimos que dicha velocidad es proporcionada á una vertical elevada sobre la superficie del líquido, hasta la altura en que se encuentre con una horizontal tirada de la altura del depósito.

La profundidad de un rio y su latitud, influyen en el curso de las aguas, porque aumentan el número de choques, y aunque tambien es mayor la masa del agua, estas cantidades, por innumerables circunstancias, en el fondo y orillas nunca se compensan, y está manifestado que á menos profundidad y latitud, se dá mayor corriente, la cual se mide introduciendo un cuerpo que tenga la misma gravedad específica del agua, para que se pueda mover tan fácilmente como sus columnas, observando el espacio que corre en un tiempo determinado, téndremos deducida la velocidad de las aguas ó su corriente.

LECCION X.

Del movimiento vibratorio, y del sonido que produce.

Hasta ahora hemos considerado el movimiento en toda la masa de los cuerpos, ó mejor dicho hemos considerado solo el movimiento *de traslacion;* falta que le consideremos en las pequeñas particulas, que constituyen cada cuerpo, y que sin destruirle suelen moverse, causando, entre otros, los admirables efectos de los *sonidos.*

Todos saben que una campana por el golpe del badajo, un cristal por cualquiera percusion, y otros muchos cuerpos semejantes adquieren una especie de temblor, al mismo tiempo que emiten un sonido. Nada hay mas trivial que el esperimento que se hace hechando un poco de agua en un vaso y pasando por su borde un dedo mojado, lo cual produce

un sonido y al mismo tiempo una vibracion en el agua que es indicio de la que esperimenta el cristal. Semejantes á este hay otros muchos esperimentos que suelen hacerse con frecuencia y que prueban que hay cuerpos en la naturaleza suceptibles de un fuerte movimiento vibratorio en sus particulas sin alterar su masa total.

Esta propiedad depende en mucha parte de la elasticidad de los cuerpos, pero no está pracisamente unida a ella, antes por el contrario se dan varios casos en que existe una sin la otra ó por lo menos no son proporcionales. El marfil es muy elastico, mas no es suceptible de muchas vibraciones, y por eso no es muy sonoro; el cristal es poco elastico en la masa total y vibra mucho en sus particulas siendo estremadamente sonoro. Para hablar con todo rigor deberia decirse que el cristal no siendo compresible de un modo que pueda notarse en toda la masa, tampoco dá toda ella signos de elasticidad, mas sus pequeñas particulas pueden considerarse como una reunion de cuerpos elasticos.

Estas vibraciones se verifican regularmente por percusion ó por frotamiento y en la direccion por que este se efectua, y asi se distinguen tres clases de vibraciones, unas *transversales* esto segun el ancho del cuerpo, otras *longitudinales* ó en toda su longitud, y otras *circulares* cuando se hace girar un cuerpo comunicando vibracion a sus partes al rededor.

Vibracion de las cuerdas.

Para practicar los esperimentos sobre las vibraciones de las cuerdas y los distintos tonos que estas producen, se usa del aparato que presenta la figura 10, lam. 3, a el cual se da el nombre de sonometro.

Consiste en una caja sobre la cual se estienden las cuerdas cuyas vibraciones y tonos queremos examinar y para esto se fijan en un estremo, y en el otro se colocan los distintos pesos que deben indicar los grados de tirantez. El prisma triangular *n* puede correr sobre la caja y situarse a distintas distancias para dar diversa longitud a las cuerdas y comparar las alteraciones que se producen en los sonidos: la caja produce en este instrumento un efecto semejante al que produce la de un forte-piano, una guitarra &c. De las esperiencias hechas con este instrumento se ha deducido.

1º Que en cuerdas iguales y con igual tirantez, las vibraciones estan en razon inversa de la longitud de dichas cuerdas.

2º Dada una misma longitud y tirantez, las vibraciones estan en razon inversa de los diámetros.

3º Cuando es uno mismo el diámetro y la longitud, las vibraciones estan en razon directa de los cuadrados de los pesos que estiran las cuerdas.

Demuestra asimismo, la esperiencia que a veces las cuerdas se dividen por decirlo así en ciertas porciones, y estas vibran separadamente dejando algunos puntos sin movimiento por ser los intermedios entre las partes que vibran, y estos puntos se llaman *nodos* de *vibracion*, que se conocen colocando un pedacito de papel sobre la cuerda a distintas distancias, y produciendo un sonido por medio de un arco semejante al de un violin, pues se observa que en ciertos puntos permanece inmóvil ó por lo menos se mueve muy poco el papelito y que en otros puntos salta con mucha fuerza.

Las vibraciones simples se hacen como representa la figura 11, lam. 3, elevandose toda la cuerda y de-

primiéndose proporcionalmente; mas las compuestas se verifican en distintas porciones como presentan las figuras 12, 13, 14, 15, y 16, donde se observan hasta cuatro nodos, esto es cuatros puntos (fig. 16,) en que las cuerdas permacen inmoviles por ser los intermedios de las partes vibrantes. Las pequeñas elevaciones que se producen entre uno y otro nodo al vibrar la cuerda, como representan las lineas de puntos, se llaman *vientres de vibracion*, y los papelitos colocados en el centro de estos arcos que es decir en un punto equidistante de uno y otro nodo, son los que saltan con mas fuerza.

Cuando se comunica a la cuerdas una vibracion longitudinal la intensidad de los sonidos no depende ni de la tirantez ni del diámetro de la cuerda sino de la naturaleza de esta y de su longitud; los nodos en esta especie de vibracion no se hacen sensibles á menos que no se haga vibrar toda cuerda ó se toque en algunos de los puntos deteniendo alli el movimiento para producir dichos nodos.

Toda cuerda que vibra transversalmente puede considerarse como la reunion de dos péndulos exactamente iguales cuyo peso está espresado por la tirantez, y su longitud por la mitad de la estension de la cuerda. Si consideramos la cuerdas *a b* figura 11, en sus vibraciones, advertiremos que el centro de ella se mueve en la direccion *c d*, y cada mitad forma un verdadero pendulo cuyo peso puede considerarse en dicho centro. Pero se sabe que los pendulos de una misma longitud y peso hacen sus oscilaciones en un mismo tiempo aunque estas sean unas mayores que otras; luego la cuerda *a b* conservando la misma longitud y la misma tirantez que espresa el peso, hará sus vibraciones en el mismo tiempo sea que estas se estiendan hasta los puntos *c* y *d* ó á

otros mas separados de la horizontal ó bien sean mas cortas que la indicada en *c d*.

Haciendo una aplicacion de la doctrina de los pendulos, a cuerdas menores con una misma ó con diferente tirantez, deduciremos el numero de vibraciones relativas, entre dos ó mas cuerdas, pues segun se minore la longitud ó se aumente la tirantez tanto mayor será el numero de vibraciones en un tiempo dado, lo cual es exactamente conforme a la teoria de los pendulos.

Aunque es cierto que estas vibraciones transversales producen una verdadera traslacion de toda la cuerda, y que no pueden considerarse como una mera vibracion de sus particulas; sin embargo son tán pequeñas y casi insensibles estas vibraciones generales, que pueden muy bien colocarse entre las vibraciones que solo pertenecen a las particulas de cada cuerda.

Sonidos que producen las cuerdas.

La vista solo puede indicar las vibraciones algo considerables, y en cuanto á sus nodos, solo se hacen perceptibles como hemos dicho por la quietud en que permanecen unos papelitos ú otros cuerpos semejantes colocados en ellos: mas el oido distingue estas cosas con mayor claridad pues se diferencian considerablemente los tonos que producen las cuerdas segun sus vibraciones. Los esperimentos hechos en el sonometro dan los resultados siguientes.

1º Una misma cuerda con una misma tirantez da un mismo tono aunque sus vibraciones sean mayores ó menores; pero la intensidad del sonido es mayor ó menor segun la de dichas vibraciones.

2º Si permaneciendo la misma tirantez, se disminuye la longitud de la cuerda, sube el tono en la misma proporcion. Para esto se coloca un prisma ó un punto de apoyo de bajo de la cuerda á diversas distancias.

No es preciso tener conocimientos musicales para notar la diferencia que hay entre un sonido fuerte ó flojo y un sonido alto ó bajo, pues la misma tecla de un piano ó la misma cuerda de un violin da un sonido mas ó menos fuerte segun el impulso que se le comunique, y no se dice que ha subido el tono. Nada es mas frecuente que decir, aun los que no entienden la musica, que una persona ha entonado una cancion muy alta ó muy baja aunque cante tan flojo que apenas se le perciba. Estos efectos se esplican perfectamente por los esperimentos anteriores; la voz es tanto mas alta cuanto mayor es el numero de vibraciones que da una cuerda en un mismo tiempo, y es tanto mas fuerte cuanto mas intensas son estas vibraciones; y por tanto si consideramos que *ab* Lam. 3, fig. 11, es una cuerda de un forte-piano, podremos hacer que su voz sea mas fuerte ó mas floja segun el gólpe que se de á la tecla; pero no que sea mas alto ó mas bajo el tono porque las vibraciones de dicha cuerda siempre se harán en el mismo tiempo, aunque sean mayores ó menores conforme á las doctrinas espuestas.

Si dividimos una cuerda en distintas porciones permaneciendo una misma la tirantez como sucede por medio de la puntuacion en una guitarra ó violin; conseguiremos que sea mayor ó menor el numero de vibraciones cuanto menor sea la longitud de la cuerda y por consiguiente la voz será mas alta ó mas baja, siendo sin embargo á veces muy floja.

En el sonometro se produce un fenomeno interesante que puede observarse asi mismo en cualquier instrumento de cuerda. Si se coloca un papelito sobre una cuerda, y despues se hace sonar otra que se halle en el mismo sonometro, ó en un instrumento separado, temblará dicho papel y aun saltará, si el tono de la otra cuerda es el mismo que el de la que lo sostiene, ó si es una octava de ella. Tambien se observa el fenomeno cuando la voz es una tercera ó quinta, pero en estos casos es mucho menos sensible. Si el tono de la otra cuerda no estuviere en ninguna de las relaciones indicadas, aunque el sonido sea intensisimo no producira efecto alguno en el papel que permanecerá en perfecta quietud.

Esto proviene de que las vibraciones se hacen de un modo que coinciden en ciertos tiempos aunque sea mayor el numero de ellas en una cuerda que en otra. Supongamos que en la cuerda *ab* Lam. 3, fig. 11, está colocado el papelito, y que hacemos vibrar la parte *dn* de la cuerda *sn* fig. 14. La cuerda *dn* es igual a la mitad de la cuerda *ab* fig. 11, luego en el tiempo en que esta hace una vibracion hará dos aquella y por consiguiente habrá momentos en que coincidan las vibraciones de las dos cuerdas, y las unas aumenten las otras ó mejor dicho las de la cuerda *dn* produzcan las de la cuerda *ab*. Pero supongamos que la cuerda *ab* dá cinco vibraciones mientras la otra dá seis: no habrá coincidencia de vibraciones y asi los impulsos producidos en el aire por la cuerda *dn* llegarán a la cuerda *ab* en tiempos contrarios a los que exigen sus vibraciones, impeliendola por egemplo a la parte *c* cuando ella en el orden de sus vibraciones debia venir al punto *d*, y resulta una perturbacion de vibraciones, o mejor dicho una estincion de ellas.

Por esperiencia se sabe que una cuerda que dá una voz, una octava mas alta que otra hace dos vibraciones en el tiempo en que aquella hace una, y que los tonos intermedios de la escala se producen por vibraciones que podemos espresar por las fracciones siguientes, $\frac{9}{8}$, $\frac{5}{4}$, $\frac{4}{3}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{5}{3}$, $\frac{15}{8}$. Suponiendo ahora la primera vez como la unidad, y su octava como 2 resultará toda la escala musical espresada del modo siguiente:

$$1,\ \frac{9}{8},\ \frac{5}{4},\ \frac{4}{3},\ \frac{3}{2},\ \frac{5}{3},\ \frac{15}{8}.$$

do, re, mi, fa, sol, la, si, do,

La aplicacion de estos principios a la teoria musical en las dos escalas diatonica y cromatica, y a la formacion de los tonos mayores y menores, no será dificultosa para los que tengan los conocimientos musicales necesarios á este intento, y produciria gran confusion en los que carecen de ellos. No siendo pues mi proposito formar un tratado de musica omitiré esplicaciones mas prolijas.

Vibracion de las vergas, ó hastilas metalicas.

Si suponemos una barra metalica fija en *a* lam. 3, fig. 12, y le comunicamos un movimiento, prueba la esperiencia que hará varias vibraciones a la manera de una cuerda, y si le aproximamos un cuerpo en *b* formará un nodo de vibracion asi como se formarán dos en la barra representada en la figura 13. Por medio de las vibraciones de estos cuerpos metalicos se demuestra claramente que ningun sonido es perceptible mientras no se producen de 30 á 36 vibraciones en un segundo. Para esto se usa de una barra de bastante estension para que se hagan

notables las vibraciones. Supongamos que produce cuatro en un segundo, no producirá sonido, y solo se dará cuando se acorte la barra hasta que produzca el numero de vibraciones indicado anteriormente. Se sabe por esperiencia que las vibraciones estan en razon inversa de los cuadrados de la longitud de las barras y por consiguiente si una barra dá 4 vibraciones en un segundo dará 36 cuando se reduzca á un tercion de su longitud.

Para conocer los nodos en una barra metalica que presente una superficie plana, basta echar sobre esta una cantidad de arena y poner en movimiento la barra por medio de la frotacion de un arco semejante al que se usa en el sonometro, pues en este caso se reunirá la arena en los puntos que forman los nodos que son los que permanecen en quietud.

Ha demostrado igualmente la esperiencia que cuando se forman muchos nodos en una barra, la distancia de uno á otro, es dupla de la que hay desde el ultimo, al estremo libre de la barra; y asi conocido este ultimo puede por aproximacion deducirse no solo el numero de los demas, sino el lugar en que se encuentran, pues basta medir sobre la barra distancias que cada una sea dupla de la que hay desde el ultimo nodo al estremo libre.

Cuando una barra se dobla, van aproximandose los nodos segun representa la fig. 23, lám. 3, donde las líneas de puntos cortan las curbas por los parages en que se hallan los nodos, que en la barra horizontal distan el espacio *a b*, de modo que cuando la barra está enteramente doblada como se presenta en la parte superior de la figura, los nodos llegan á aproximarse considerablemente. En este caso las dos partes de la barra superiores á la curbatura deben considerarse como dos barras distintas, y segun sus longitudes formarán otros nodos, en mayor ó

menor numero segun se presentan en las figuras 24 y 25; mas en la primera de estas, los nuevos nodos apenas distan de los primeros á causa de no hallarse tan doblada la barra y suponerse de menor longitud. Segun el numero de nodos asi sube el tono producido por las barras, en lo cual convienen enteramente con las cuerdas.

Vibracion de las laminas.

Para observar las vibraciones de las laminas se aseguran por el tornillo *a*, lám. 3, fig. 17, quedando todos los demas puntos de la lámina sin contacto, y para afirmar el todo se asegura la pieza de bronce *s t* á una mesa por medio del tornillo de presion inferior *n*. Se hecha arena sobre las láminas y se frotan por medio de un arco.

Ha demostrado la esperiencia que fijando por el centro una lámina, fig. 18, y pasando el arco por uno de los angulos, la arena toma la situacion que presenta la figura, y el tono es el mas bajo que puede dar este plano cuadrado.

Si se pasa el arco por un costado, la arena se situará como en la figura 19; y si el arco se pasa por el punto *b* al tiempo que se oprime con un dedo en el punto *a*, se repartirá la arena como presenta la figura 20.

Siendo la lámina circular y fija por el centro como los cuadrados anteriores, si pasamos el arco por circunferéncia se situará la arena como presenta la figura 21 donde se supone que en el punto *a* se ha hecho una opresion, y que el arco ha pasado por el punto *b* dístante 90 grados del punto donde va á parar el radio formado por la arena proximo al punto *a*.

Si se hace pasar el arco por el punto *c*, fig. 22, al mismo tiempo que se hace una opresion en el punto

d; formará la arena un circulo concentrico dividido por un diametro como presenta la figura y a veces se conseguirá formar solo el circulo. Si despues se pasa por el punto *n*, ó por otro distante de *c*, se formaran otros tantos diametros que dividan el circulo de arena.

Estas observaciones presentadas por Beudant demuestran que los nodos en las laminas vibrantes, varian segun la figura de esta y la direccion del choque ó frotacion; mas al mismo tiempo como advierte dicho autor, aun no se ha determinado la ley que siguen estos nodos y es materia susceptible de ulteriores investigaciones.

Propagacion del movimiento vibratorio ó del sonido.

El movimiento vibratorio puede propagarse por los sólidos, por los liquidos y por el aire y fluídos aeriformes, pues todos estos cuerpos son conductores del sonido, que no es mas que el movimiento vibratorio del cuerpo que llamamos sonoro, propagado por un *vehiculo*, ó cuerpo intermedio hasta nuestros oidos.

Para comprender la comunicacion de los sonidos por los cuerpos solidos, v. g. por un gran madero por un muro muy grueso, &c. es preciso traer á la memoria lo que hemos dicho sobre el choque de los cuerpos elasticos, pues efectivamente las partículas de estas grandes masas deben considerarse como una serie de globos elasticos que van comunicandose las fuerzas en virtud de su mismo elaterio. Si suponemos una gran serie de globos de marfil, en perfecto contracto, prueba la espériencia, que siendo iguales, si damos un golpe al primero todos permanecen quietos, menos el ultimo que parte con una fuerza proporcional al choque que se dió al primero,

porque cada globo va comunicando á su inmediato la mitad de sus fuerzas y pierde la otra mitad por el retroceso que causa su elaterio, al paso que el globo siguiente adquiere toda la fuerza del anterior, lo cual es conforme á las doctrinas que hemos establecido. Considerando pues un cuerpo solido como una reunion de pequeños cuerpos elasticos, se percibirá claramente, que un golpe ó un impulso dado en un estremo irá pasando por todas las partículas que permanecerán quietas y llegará hasta la ultima que se desprénderia continuado su movimiento si no estuviera fuertemente ligada con la anterior y con sus laterales.

Se infiere de lo dicho que mientras mas elastico es un cuerpo y mientras mas solido, mas facilmente se propaga por él un sonido, pues la elasticidad proporciona el aumento de fuerza, y el contacto facilita el choque. Sin embargo esta no puede ser regla universal, y habrá muchos cuerpos que por sus particulares circunstancias no propaguen el sonido con tanta facilidad como otros menos solidos ó menos elasticos.

Es facil percibir que si el sonido se propaga por un cuerpo de gran estension; el movimiento vibratorio de las particulas formará como unas olas, pues ya las anteriores estan en quietud, cuando se mueven las del centro por ejemplo, y estas permanecen quietas cuando se mueven las del estremo opuesto produciendose un efecto semejante al que observamos en las olas, cuando se arroja un cuerpo considerable en una gran cantidad de agua: esto es, que el agua inmediata al cuerpo queda en quietud mientras la ola va avanzando. A esto se da el nombre de *undulaciones sonoras.*

Los liquidos propagan tambien el sonido segun su elasticidad y densidad. Antiguamente se creia

que solo el aire era conductor del sonido y que si el agua lo propagaba, era por las particulas de aire que contenia. Las esperiencias de Nollet hicieron ver desde su tiempo que el agua privada de aire conduce el sonido aun con mas fuerza que el agua comun, y estas esperiencias repetidas posteriormente han hecho que en el dia ningun fisico dude sobre esta materia. Que por el agua en su estado natural se propagan los sonidos con mas fuerza y á mas distancia que en el aire, se comprueba con el esperimento que por diversion suele hacerse de chocar dos piedras ú otros cuerpos semejantes bajo de ella, hallandose sumergido en la misma y á gran distancia la persona que deba observar este fenomeno. El sonido es notablemente mas fuerte que en el aire libre, y se propaga á una distancia admirable. Franklin segun refiere Biot percibió este sonido á lá distancia de media milla.

El aire es sin duda el conductor de todos los sonidos que percibimos ordinariamente lo cual se prueba hasta la evidencia haciendo mover una campanilla dentro del recipiente de la maquina neumatica ó colocando bajo el mismo recipiente un pequeño aparato en que un martillo da continuos golpes sobre una campana en virtud de un mecanismo que se pone en accion por una cuerda como la de un relox. Asi este aparato como la simple campana cuando se quiere hacer con ella sola el esperimento, se procura que esten sostenidos por una planchuela de plomo ó por otro cuerpo de poca elasticidad, para que no comunique la vibracion al platillo de la maquina. El sonido vá minorandose por grados segun se estrae el aire, hasta estinguirse enteramente, y se ven dar los golpes sobre la campana sin producir efecto alguno; mas si á este tiempo se deja entrar el aire

en la maquina renace el sonido aumentandose gradualmente hasta que se percibe como al principio, luego que el recipiente está lleno.

En los fluidos aeriformes se dá propagacion de sonidos alterandolos segun la densidad de dichos fluidos respecto del aire, lo cual se comprueba haciendo sonar una flauta pequeña semejante en su construccion a las de los organos, por medio de una vegiga llena de un gas é introduciendo dicha flauta en un recipiente que tambien esté lleno del mismo gas. Este mismo esperimento puede hacerse con mas sencillez introduciendo en un recipiente que contenga el gas un relox de repeticion, pues advirtiremos que los primeros golpes que dá en el aire son de un tono muy distinto de los que continua dando despues de introducido el gas. Los efectos son diferentes no solo en la intensidad del sonido, sino tambien en su tono, dependiendo esto de la densidad respectiva de los gaces y de la naturaleza de sus particulas. En el mismo aire se encuentra gran diferencia respecto a la intensidad de los sonidos, siendo mas fuertes los que se producen en la parte inferior de la atmosfera que los producidos en una gran altura. Esto se hace sensible sin tener que practicar los esperimentos en grandes elevaciones valiendose de la maquina de compresion. Esta es semejante á la neumatica con la diferencia que las bombas en vez de estraer el aire del recipiente le obligan á entrar en él y a comprimirse, para lo cual estan dispuestas las válvulas en sentido contrario que en la maquina neumatica de estraccion (pues la de compresion tambien es neumatica) y el recipiente está asegurado contra el platillo, de donde salen unas columnas que van á parar á un plano superior, que oprimido por unos tornillos, asegura el recipiente. Se suele cubrir esta con un enrrejado para evitar es-

tragos en caso de rebentar, y queda como dentro de una jaula cuya parte inferior es el platillo, la superior el plano que oprime, y los lados se forman por las pequeñas columnas y la reja de alambres. Oprimido el aire en esta maquina se produce un efecto contrario al que se observa en la de estraccion, pues la campana lejos de minorar su sonido lo aumenta considerablemente segun se va comprimiendo el aire, y de este modo se infiere cual es el efecto que produciria un cuerpo sonoro en una profuudidad considerable donde la atmosfera se hallase tan comprimida como en esta maquina: y sabiendose por otra parte los que produce en la de estraccion, es decir á menor densidad de el aire, se puede muy bien determinar aproximadamente los efectos producidos por un mismo cuerpo sonoro á distintas alturas sobre la superficie de la tierra y en distintas profundidades. Unas y otras estarán indicadas por el barometro de prueba que acompaña a la maquina.

Iguales efectos se obtienen aumentando la elasticidad del aire por medio del calórico, para lo cual se ponen por fuera de la compana algunos paños mojados en agua caliente, ú otros cuerpos semejantes que enrrarescan el aire, el cual no pudiendo salir se oprime del mismo modo que si se introdugese una nueva cantidad por la accion de las bombas. De aqui se deduce que en la atmosfera el sonido es tanto mas intenso cuanta mayor fuere la cantidad de calórico que se halle en la capa de aire por donde se propaga, pues dicho calorico proporciona mayor vibracion en las particulas, y por consiguiente mayor intensidad de sonido.

De la comunicacion de las vibraciones sonoras.

Es sin duda un fenomeno admirable en la naturaleza que los cuerpos a gran distancia del que causa el sonido, adquieran la misma clase de vibraciones que es decir propaguen el mismo sonido, solo por el contacto el aire que conduce dichas vibraciones. Aun es mas admirable que un mismo cuerpo y á un mismo tiempo propague una multitud de sonidos unos mas graves que otros y que estos se perciban distintamente. Sin embargo, de las doctrinas que hemos establecido puede inferirse la causa de ambos fenomenos que procuraremos esplicar.

Segun los esperimentos hechos en el sonometro, consta que las cuerdas se ponen en movimiento por el sonido de otra que esté en el mismo tono, en su octava, ó en algun otro que pueda combinar sus vibraciones con las de dicha cuerda, y esta permaneceá inmovil por fuerte que sea el sonido, si es de tal tono que no se combine con el suyo. Consideremos pues que en un cuerpo hay particulas de todas longitudes, cuyas vibraciones por consiguiente seguirán el mismo orden que se observa en las cuerdas ó laminas mayores y resultará que el sonido que ponga en movimiento á algunas de ellas dejará inmoviles las otras. Tenemos pues que siendo innumerables estas particulas, no solo se propagan las vibraciones n general, sino que al mismo tiempo se pueden star propagando una multitud de ellas por un mismo cuerpo sin que se confundan. Es cierto que muchos de estos radios sonores pueden impedirse mutuamente y quedar destruidos, mas siendo tanto su numero, la pérdida de alguna parte de ellos no se hace notable.

Variedad de los sonidos segun las columnas de aire en que se producen, ó diferencias de tonos en los tubos.

Está demostrado que la mayor ó menor elevacion de los tonos que se producen en tubos, nò depende del grueso ni del diametro de estos, sino de su longitud, y del modo con que se agita el aire en ellos. Mientras mas largo es un tubo mas bajo es el tono, y asi vemos que en las flautas por medio de los agujeros, no se hace otra cosa sino proporcinar que la columna de aire desde la embocadura hasta el primer agujero destapado sea mayor ó menor, y segun esta longitud sube ó baja el tono. Es cierto que algunas voces en este instrumento y en cualquiera otro semejante dependen de la combinacion entre los agujeros tapados y abiertos, mas esto confirma que la alteracion de los tonos se produce por la alteracion y combinacion de las longitudes de las columnas de aire que deben ponerse en movimiento. Donde esta doctrina se hace mas sensible es en un trombon, pues su mecanismo no consiste mas que en prolongar ó minorar un tubo, y esto solo basta para dar todos los tonos y aun para hacer transiciones insensibles de unos á otros, en lo cual saca ventaja este instrumente á todos los de viento.

La materia de que está formado un tubo puede hacer mas sonora la voz del instrumento, pero nò alterar su tono, y asi una flauta de cristal y otra de madera exactamente iguales en las demas circunstancias, darán seguramente unos mismos tonos aunque una sea mas sonora que otra.

Es probable que en las columnas de aire contenidas en un tubo se forman nodos de vibraciones como

en las cuerdas y las láminas, por que vemos que en un tubo cerrado por un estremo y abierto por otro como son las flautas, se dan vibraciones muy semejantes á las que produce una verja metalica fija en un estremo, y agitada longitudinalmente; pues en un mismo tubo los sonidos que se obtienen aumentando sucesivamente la impulsion, estan entre si como los numeros 1, 3, 5, 7, en lugar de estar como 2, 3, 4, 5, &c. y por consiguiente tenemos un aumento que corresponde á 0, 1, 2, 3. Parece probable que este aumento depende del numero de nodos que se producen en la longitud de la columna de aire, pues vemos que es cabalmente el mismo efecto que se observa en las verjas vibrantes, y que proviene en ellas del numero de nodos.

En un tubo abierto por ambos estremos se produce un sonido que es al que se produciria en un tubo igual pero cerrado por un estremo como 1 : 2; lo cual indica que hay un nodo de vibracion en el centro del tubo.

Si el tubo donde se produce el sonido va aumentando de diametro segun la distancia al punto en que se da el impulso al aire, el tono es mas agudo que en un tubo cilíndrico de la misma longitud, pero si por el contrario el movimiento del aire se comunica en la parte mas ancha de este mismo tubo, el tono será mas grave; de modo que puede establecerse que los tubos *divergentes* elevan el tono y los *convergentes* lo bajan. Estas nociones sacadas del ensayo de ciencias fisicas de Beudant pueden conducirnos á la esplicacion de los efectos que observamos en los instrumentos de viento.

Velocidad de los sonidos.

La esperiencia ha demostrado que en el aire libre corre el sonido 337 metros y 18 centimetros por segundo, y que este efecto no sufre alteracion alguna sea que el esperimento se haga de noche ó de dia, en tiempo humedo ó seco y ya sea flojo ó fuerte el sonido que se propague. El cálculo sobre las vibraciones de las partículas del aire dá un resultado diferente pues suponiendo la temperatura de 6°, la velocidad del sonido segun los cómputos matematicos debia ser de 232 metros poco mas ó menos. Newton habia demostrado esta verdad y observando que la esperiencia no correspondia á su calculo, opinó que las partículas salinas y sulfureas que existian en la atmosfera eran causa de esta diferencia. Algunos la han atribuido á la humedad, pero aun cuando el aire estuviere saturado de ella, el aumento de la velocidad del sonido no seria de 8 pies por segundo siendo asi que segun los cálculos de Newton deberia correr 978 pies, y la esperiencia prueba que corre 1142 en un segundo, lo cual dá una diferencia de 174.*

Laplace es el que mas se ha aproximado á la razon de este efecto, que atribuye á que las partículas del aire en su choque hacen desprender una corta cantidad de calorico que sin ser suficiente para alterar el termometro, lo es para aumentar un poco la elasticidad del aire y por consiguiente la propagacion del sonido.

Cuando el sonido es debil se estiende á menor distancia pero corre todo el espacio por donde se

* Renwick, Outlines of Natural Philosophy, vol. I, p. 156.

propaga con la misma velocidad que lo correria un sonido fuerte. Solo altera la propagacion del sonido que el viento sea favorable ó contrario, ó que la temperatura sea mas ó menos elevada.

Estos fenomenos se esplican perfectamente si consideramos que como hemos dicho las partículas sonoras hacen sus vibraciones lo mismo que las cuerdas del sonometro y estas estan sujetas á toda la téoria de los péndulos. El sonido mas fuerte consiste en mayor vibracion que el flojo, mas no se practica dicha vibracion en menos tiempo, siendo asi que las oscilaciones de un mismo péndulo se hacen todas en un mismo tiempo aunque unas sean mayores que otras. Debemos considerar ademas que la propagacion se hace lo mismo comunicando á la partícula inmediata vibraciones cortas, que si se le comunicasen otras muy estensas, pues el instante de percusion ó choque debemos considerarlo como indivisible y solo su mayor ó menor fuerza es la que produce la diversidad en las vibraciones comunicadas.

La humedad puede aumentar la intensidad del sonido porque hace mas denso el medio por donde se propaga; pero no siendo suficiente para entorpecer las vibraciones del aire estas se producen del mismo modo que si no existiesen tales vapores humedos.

Cuando el aire está contenido en un tubo, ó conducto cilindrico, se hace la propagacion de los sonidos á mayor distancia porque no se esparcen tanto las masas de aire vibradas, y el mismo choque contra las paredes del conducto aumenta estas vibraciones. Biot ha hecho una serie de esperimentos muy interesantes sobre esta materia, para lo cual se valió de los aqueductos de Paris eligiendo en ellos una estension de 951 metros. La voz mas baja y la mas floja como cuando se habla al oido pro-

nunciada en un estremo se percibia distintamente en el otro, y respondiendo en la misma voz se obtenia la respuesta á los 5″ y 58 sex. de modo que en este tiempo corrió el sonido dos veces la longitud del canal, es decir 1902 metros. Demostró asimismo este fisico, que todos los sonidos así graves como agudos corren con la misma velocidad, pues una succesion de sonidos, ó lo que es lo mismo una cancion cualquiera, se percibia al otro estremo del aqüeducto, sin confundirse las voces, y con la misma claridad que si se cantase á distancia de dos varás. De aquí infirio muy bien que los sonidos corrian todos con igual velocidad pues de lo contrario hubieran llegado en diverso tiempo confundiendose necesariamente. Ni podria decirse que guardaban proporcion en su curso y por eso iban llegando ordenadamente; pues en una cancion los tonos no guardan el orden de escala y suele haber uno muy agudo inmediato á uno muy grave, de modo que si corriesen con distinta velocidad, necesariamente se alteraria la cancion oida á gran distancia.

Los cuerpos sólidos propagan el sonido con distinta velocidad, y habiendo practicado Chladni varios esperimentos, dedujo que representando por I la velocidad con que se propaga un sonido en el aire libre será

La del estaño - - - -	$7\frac{1}{2}$
La dela plata - - - -	9
La del cobre - - - -	12
La del hierro - - - -	17
Las de diferentes maderas -	11 á 17
La del laton segun Lagrange -	$10\frac{1}{2}$

Para comparar Biot la velocidad de un sonido propagado por el aire con la del mismo propagado por un cuerpo metalico, reunió muchos tubos formando uno de 951 metros. En un estremo de

este gran tubo colocó un anillo de hierro del mismo diametro en cuyo centro se hallaba un cuerpo sonoro que se comunicaba con el tubo por medio del anillo y las aspas metálicas que le sostenian. Despues dispuso un martillo en terminos que al dar el golpe chocase con el borde del tubo y con el cuerpo sonoro que se hallaba en su centro. Dado un golpe se percibieron dos sonidos en el estremo opuesto, siendo el primero $10\frac{1}{2}$ veces mas veloz que el segundo. Para hacer el esperimento aplicó el oido contra el tubo y de este modo percibió el primero de estos sonidos con mucha anticipacion y tuvo tiempo para notar la diferencia entre su velocidad y la del segundo.

Ha demostrado Lagrange que la velocidad del sonido en el agua lluvia es á la del mismo en el aire como $4\frac{1}{2}$ á 1, y que en el agua del mar se dá una diferencia respecto del aire como $4\frac{7}{10}$ á 1.

Intensidad del sonido segun las distancias.

El sonido se propaga por radios que salen del cuerpo sonoro y por consiguiente van separandose cada vez mas segun las distancias, resultando que no pueden caer igual número de radios sonoros sobre un cuerpo que esté proximo al que los emite que sobre uno que se halle á gran distancia. Los geometras demuestran que toda fuerza que se difunde por radios decrece en razon de los cuadrados de las distancias; luego el sonido debe seguir esta misma ley pues su intensidad depende no solo de la propia de cada uno de los radios sonoros sino tambien del número de ellos, y este numero es el que está en rason inversa de los cuadrados de las distancias, dada una misma superficie donde se reciban. Cuando tratemos de la difusion de la luz

se espondrá esta doctrina con alguna mayor estension pues efectiveamente la lüz y el sonido convienen en esta propiedad de decrecer segun los cuadrados de las distancias a que se difunden.

Es facil percibir que el sonido debe minorarse en un mismo radio sonoro segun la distancia, mas esta diminucion es muy poco sensible porque el aire no encuentra grandes obstaculos para su movimiento cuando este no es de translacion sino de mera vibracion, puesto que la particula que se conmueve cerca del cuerpo, no se traslada á grande distancia, sino que permaneciendo en el lugar que tenia, comunica su movimiento á la inmediata, esta á una tercera y asi sucesivamente. Se estingue pues el movimiento en un solo radio sonoro por el choque de unas particulas con otras y porque la elasticidad del aire no es enteramente perfecta; pero la diminucion se hace insensiblemente, y sin duda los radios sonoros se propagan a distancias mucho mas considerables que aquellas a que podemos percibirlos. Para nuestro oido no basta un solo radio sonoro amenos que este no tenga una fuerza intensisima, y asi va decreciendo el sonido segun decrece el numero de radios.

De la repeticion del sonido, ó del eco.

Este fenomeno es bien conocido, y depende enteramente de las leyes del movimiento reflejo. Cuando un radio sonoro choca en un objeto refleja formando un angulo sensiblemente igual al de la incidencia, y de aqui resulta que unas veces se reunan los radios y otras se separan segun la situacion de los planos sobre que caen. Si los objetos que nos rodean pueden hacer volver los radios sonoros á nuestros oidos, esperimentaremos una nueva sensacion semejante á la que esperimentamos pri-

mero al dar una voz. De aqui resulta que en las bóvedas y otros muchos lugares semejantes, se produce el eco, mas no en un llano, pues en este no hay objetos que hagan volver los radios sonoros. Si la distancia de que vuelven los radios es muy corta no da tiempo á que se distingan las sensaciones por que el segundo impulso llega cuando el organo aun está agitado por el primero; mas si la distancia es proporcional, y existen algunos otros obstaculos algo mas separados tendremos varias repeticiones de una misma voz, todas perceptibles, por que tartandose unas mas que otras dan tiempo á distinguirlas, y asi hay edificios, construidos de proposito para hacer la repeticion hasta de once silabas, y otras que repiten una misma voz varias veces.

Segun las investigaciones hechas sobre esta materia consta.

1º Que el sonido reflejo tiene la misma velocidad que el directo.

2º Que la intensidad del sonido al estremo de un radio reflejo es la misma que hubiera tenido el radio directo si no hubiera encontrado obstaculo para continuar su carrera hasta una distancia igual á la longitud del radio reflejo, ó lo que es lo mismo si se hubiere comunicado directamente hasta una distancia igual á la suma de ambos radios.*

3º El eco no es perceptible á menos que entre uno y otro sonido no haya $\frac{1}{10}$ de segundo de diferencia, y por consiguiente la distancia de donde se produce el eco debe ser $16\frac{1}{2}$ metros, poco mas ó menos.

Cuando la reflexion de los sonidos se hace á distancias menores que la que acabamos de indicar y por consiguiente vuelven los radios sonoros al lugar

* Beudant.

de donde habian salido ó á otros inmediatos en muy corto tiempo; se produce un aumento de sonido ó una resonancia que es mayor ó menor segun la posicion que tienen los cuerpos de donde reflejan los radios sonoros, pues esto hace que se reunan mas ó menos. Todo el mundo conoce los efectos de las bóvedas para la resonancia, y lo que se oponen á ella las columnas y molduras de los edificios. La bóveda reune los radios segun hemos demostrado tratando de la reflexion de los cuerpos que caen sobre una superficie cóncava, lo que no sucede á lo menos en tanto grado cuando es otra la configuracion de un techo; y por lo que hace á las columnas y molduras, estas dando distintas direcciones á los radios destruyen muchos de ellos é impiden que otros se reunan con los reflejados por el resto de la superficie del edificio. Esta misma es la causa porque una pieza amueblada es menos propia para los sonidos que cuando está vacia. Los tapices y las colgaduras son asimismo unas causas poderosas de la estension del sonido, pues formandose de materias poco elasticas no reflejan los radios con la fuerza que lo harian cayendo sobre sus paredes.

Es observacion bien sabida que las piezas propias para dar mas brillantéz á una horquesta no lo son para favorecer la voz de un orador, pues á esta perjudica la resonancia que suele confundirla, mientras una horquesta nada pierde de su distincion á lo menos en la generalidad de los sonidos. Una figura eliptica es sin duda la mas perjudicial que puede tener una pieza destinada á hablar en publico, pues demuestran los geometras que la reflexion en una elipse, reune los radios en sus focos, quedando el espacio intermedio como vacio. De aqui resulta un fenómeno particular, y es que en una pieza semejante, hablando un orador en uno de los estremos.

se oye mejor en el otro que en el centro de la pieza precindiendo de algunas circunstancias particulares, pues reuniendo los radios en el foco opuesto á aquel en que se supone estar el orador, harán mas perceptible la voz en este punto que en los intermedios.

Del ruido, ó sonido irregular.

Los cuerpos que adquieren una fuerte vibracion, pero que se estingue en el momento por la rigidez de sus partículas, y que al mismo tiempo tienen mucha irregularidad en las oscilaciones de ellas, producen instantaneamente un conjunto de sonidos desconcertados y fuertes que conmueven nuestros organos, produciendo la sensacion desagradable que llamamos ruido. Pero á la verdad no es siempre fuerte este sonido, pues observamos muchos cuerpos que dán un sonido poco agradable siendo flojo; como cuando se dá un ligero golpe sobre una tabla. Parece que los sonidos desagradables necesitan cierta continuacion en las vibraciones para que nuestro oido no sufra una alteracion tan instantanea, que le mortifique, como sucede cuando un cuerpo vibra con gran fuerza é inmediatamente cesa en esta vibracion. Es muy probable segun la opinion de algunos fisicos, que en el nervio auditivo se dé un conjunto de fibras imperceptibles que siendo de diversa longitud y tirantéz, se ponen como de acuerdo con los distintos sonidos que se producen en la naturaleza, y cuando hay un cuerpo cuyas vibraciones no confrontan bien con las de estas fibras ó cuando despues de haberlas agitado fuertemente cesa de moverlas y no hace que pasen como por grados de una situacion á otra: produce necesariamente un sonido desagradable. Este puede serlo de dos maneras segun lo que acabamos de decír, ó

por no confrontar con las vibraciones de las fibras aunque dure algun tiempo ó tenga resonancia, ó por carecer de esta y producir solo un golpe súbito en nuestros organos. La esperiencia parece que prueba esta teoria, pues el hierro el cobre y otros metales rigidos producen un sonido ó mejor dicho un ruido desagradable; al paso que la plata y el oro, susceptibles de otra clase de vibraciones producen un sonido armonioso.

ADICIONES.

Hydrometro.

Meikle ha inventado un hydrometro que consiste en un tubo de cristal doblado en terminos que forma cuatro tubos paralelos, sin mas que dos bocas que estan en los dos laterales y ambas hacia arriba. Tapada una de ellas se echa por la opuesta un poco de agua (que apenas puede subir por el tubo inmediato á causa de la presion del aire) habrese despues y por ella se echa el liquido cuyo peso especifico quiere probarse. En el momento entran como en lucha las dos columnas oprimiendo al aire que se halla entre ambas (esto es en la curbatura superior y parte del segundo y tercer tubo) y cuanto haga ceder la columna del liquido que se prueba, á la del agua, tanto excede el peso especifico de aquel al de esta que se considera como la unidad. Para medir estos grados se pone una escala detras de los tubos.

Maquina Neumatica de Richie.

Richie ha inventado un medio para omitir la valvulas en la maquina neumatica, y por consiguiente para darle una perfeccion estraordinaria, pues no solo se evita los efectos de la inexactitud de aquellas sino que no teniendo el aire que emplear fuerza alguna para pasar de el recipiente á la bomba pues no hay

por decirlo asi compuerta que suspender; puede llevarse la estraccion á un sumo grado. A corta distancía del fondo de la bomba hay un conducto que va á parar al recipiente, y cerca de este se halla una llave que se habre durante la operacion y se cierra inmediatamente despues para impedir mas la entrada del aire. El embolo es como los ordinarios solo que carece de valvula, su hastil es redondo con el objeto de pasar ajustado por una *caja de seguridad* ó por otro nombre caja de cuero de las que se usan en muchos aparatos neumaticos, y aun se encuentran en algunas maquinas neumaticas, cubriendo la parte superior de la bomba como en la de Richie, que ademas tiene en dicha parte un pequeño agujero para dar salida al aire que se hallaria oprimido entre la caja ó cubierta y el embolo al elevarse este, y haria una gran resistencia. Cubrese con un dedo y la esperiencia ha probado que esto basta para permitir la salida del aire de la bomba é impedir su entrada. Termina el hastil en una barra dentada que se mueve del modo ordinario. Es claro que cuando el embolo se halla en el fondo de la bomba el aire tiene paso libre desde el recipiente á esta que se halla casi vacia, y por tanto puede conseguirse su extraccion aunque se halle muy enrrarecido.

Otro mejoramiento ha hecho el mismo autor á la maquina neumatica y consiste en mover el manubrio siempre en una misma direccion evitando los dos movimientos que hasta ahora se habian practicado con incomodidad del que opera y a veces con perjuicio de los esperimentos. Ademas de la rueda que tienen todas las maquinas neumaticas para mover los embolos se halla otra verticalmente y movida por ella. Es facil inferir que sus movimientos son opuestos, y no estando dentadas sino en media circumferencia, cuando la inferior eleva un embolo tiene su parte

no dentada hacia él otro y por consiguiente nada producen en el; al paso que la superior le hace bajar, y nada opera en opuesto movido por la rueda inferior por tener hacia el su parte no dentada. Continuando el movimiento las cosas se cambian y la rueda que hizo bajar un embolo empieza a suspender el otro.

Maquina neumatica de estraccion y compresion.

Buchanam ha mejorado la maquina neúmatica haciendola que sirva no solo para formar el vacío sino para comprimir el aire segun el modo de usarla. Consiste en una bomba horizontal que se comunica con el recipiente al centro de ella, y con otra vertical al centro de ella téniendo ambas sus embolos sin valvula alguna. Cuando llega al fondo el embolo de la bomba horizontal, es claro que deja detras el conducto de comunicacion con la vertícal. Bajase entonces el embolo de esta y el aire pasa á la bomba horizontal y sale por su boca, no pudiendo. Comunícarse al recipiente de la maquina por ímpedirlo una valvula que se halla en el conducto de comunicacion entre la bomba horizontal y dicho recipíente. En éstas circunstancias, esto es, cuando ambos embolos tocan al fondo de sus respectívas bombas, se saca el de la horizontal, y es claro que en ella se forma un vacío y que el aire del recipiente descenderá naturalmente á ocuparla. Elevase entonces el embolo de la bomba vertical y dicho aire sube á llenarlo. Vuelvese á introducir el embolo de la bomba horizontal y en seguidas bajase el de la vertical como al principio, en cuyo caso saldrá por la boca de la horizontal la porcíon de aire que se habia estraido del recipiente y continuada la operacion llegará á formase el vacio.

Invirtiéndo la valvula de comunicacion con el recipiente para que se abrá hacia este de modo que el aire pueda entrar mas no salir, y empezando la operacion de un modo contrario, esto es, sacando el embolo de la bomba horizontal y haciendo descender despues el de la vertícal se consigue introducir el aire en el recipiente produciendo la compresion.

Gravimetro para polvos.

Leslie ha inventado un gravimetro para arenas, ó polvos, que consiste en un tubo de cristal de una pulgada ó poco mas de diametro, que termina en otro mucho mas estrecho y largo, con el cual se comunica por un conducto tan pequeño que solo da paso al aire, pero de ningun modo al polvo que se introduce en el tubo ancho, cuya boca está bien pareja, y ajusta perfectamente á una lamina de cristal, con que se cubre. Hay otro tubo en que se echa mercurio y se introduce la parte estrecha del *tubo doble* que acabamos de describir, hasta que el mercurio llegue á la divisíon de uno y otro tubo ó hasta el pequeño conducto de comunicacion de que hemos hablado. Cubrese entonces la boca superior con la lamina de cristal y se eleva el tubo. Naturalmente desciende el mercurio pero se queda elevado á cierta altura. Repitese el esperimento sin la arena, y por consiguiente hallandose todó el tubo superior lleno de aire, el cual hará que descienda mas el mercurio, por que el aire aumenta su volumen segun disminuye la presion, y si por ejemplo ha de duplicarse, ocupa mas espacio el duplo de 20 pulgadás cubicas que el de 10, y asi tenemos que la parte del tubo estrecho comprendida entre las marcas á que ha descendido el mercurio en

uno y otro esperimento nos indicá la diferencia entre la cantidad de aire en uno y otro caso, y por consiguiente el espacio que ocupaba la materia solida de la arena. Siendo pues el peso proporcional á esta materia solida; el instrumento indica asimismo el peso de las arenas ó polvos.

Compresion.

Segun los esperimentos practicados ultimamente por Oersted, resulta 1º que oprimida el agua con una fuerza cuarenta y ocho veces mayor que la que ejerse la atmosfera, no desprende calor alguno. 2º Que el mercurio se comprime un millonecimo de su volumen por cada aumento de presion igual á la que ejerse la atmosfera. 3º Que la del eter sulfurico es casi triple de la del alcool, casi dupla de la del sulfuro carbonico, y solo 1$\frac{1}{3}$ de la del agua. 4º Que el agua impregnada de sales, alcales, ó acidos es menos comprensible que la pura.

Perkins ha hecho igualmente varios esperimentos sobre la materia sirviendose de un cilindro de bronce de 34 pulgadas de largo, y 13$\frac{1}{2}$ de diámetro, con un embolo de acero. Graduaba la presion por medio de una palanca colocando pesos á distintas distancias con una presion dos mil veces mayor que la de la atmosfera consigío reducir $\frac{1}{12}$ del volumen del agua; el acido acetico reconcentrado se cristalizó con una presion mil cien veces mayor que la de la atmosfera, y la parte restante del liquido perdió su acidéz. El agua absolvió enteramente el aire con una presion quinientas veces mayor que la de la atmosfera y no la desprendió cuando cesó la presion.

Resistencia á la fractura.

Navier ha hecho varías esperiencias para conocer la de los tubos y vasos en general llenandolos de un liquido somelido á una gran presion. He aqui los resultados.

Materia de los vasos.	*Presion valuada por kilog.*	
De hierro tirado en la direccion de sus laminas componentes	41	
Idem perpendicular a dicha direccion	21	1
Plomo en laminas	1	35
De vidrio y de cristal	2	18

El hierro empieza á estenderse cuando la presion es un tercio menor que la necesaria para romperlo. El cobre con la mitad, y el plomo con un poco mas. El hierro se estiende $\frac{1}{10}$, el cobre $\frac{2}{3}$, y el plomo despues de estenderse $\frac{1}{10}$ cede lentamente á la presion que al fin causa la rotura.

Tornillos.

Bevan ha hecho varios esperimentos para determinar la fuerza necesaria para arrancar los tornillos introducidos en diversas maderas. Usó de un tornillo de 2 pulgadas de largo y 0,22 de diámetro, y obtuvo los siguientes resultados.

	Lib.
Fresno	790
Encina	760
Carba	770
Olmo	655
Cicómoro	830

Esperimentó que el tornillo no se desprendia antes de seis minutos.

Salida del aire.

Aubuison ha probado que la salida del aire por un conducto circular en virtud de una presion es 0,63, menos de la que presenta el cálculo si el conducto es circular, 0,93 si se le adapta un cilindro; 0,95 si se adapta un vaso cónico de modo que en la salida por estos la perdida de aire es un seis por ciento menos que la que presenta el cálculo siguiendo las reglas generales de las salidas de los fluidos por los conductos en virtud de una presione.

Carta del autor al Profesor de Musica, D. Gabriel Pons, sobre el metodo de encontrar el numero de vibraciones que producen los diversos tonos en diversas escalas.

Pideme V. mi amigo un lijero ensayo sobre la aplicacion de la doctrina de Biott, para encontrar el numero de vibraciones correspondientes á una *nota dada* en una escala cualquiera. La amistad y la ciencia tienen sobre mi un imperio ilimitado, y asi nada me detiene, manos á la obra.

Metodo para encontrar el numero de vibraciones que produce una cuerda en cualquíera nota de cualquiera escala, segun la doctrina de Biott.

Se sabe por esperiencia que la 1ª octava dá dos vibraciones, mientras la tónica dá una, y las demas voces intermedias se producen por vibraciones espresadas por fracciones en el orden siguiente:

Tónica 1, $\frac{9}{8}$, $\frac{5}{4}$, $\frac{4}{3}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{5}{3}$, $\frac{15}{8}$, 2.
do, *re*, *mi*, *fa*, *sol*, *la*, *si*, *do*.

Si se quiere encontrar el numero de vibraciones que produce cualquiera de estas voces en una mas alta se multiplica por 2 el quebrado que corresponde á dicha nota. Por ejemplo, *re* está espresado por $\frac{9}{8}$, y si multiplicamos por 2 este quebrado nos dará el que corresponde á *re* en la segunda octava. Se sabe que para esto podemos hacer una de dos cosas ó dividir por 2 el denominador del quebrado, ó multiplicar por 2 el numerador y tendrémos en el primer caso $\frac{9}{4}$ y en el segundo $\frac{18}{8}$ que son quebrados

de igual valor, y asi por cualquiera de ellos podemos espresar el valor de *re* en la segunda octava. Si le queremos en la tercera octava volveremos á hacer la misma operacion con este nuevo quebrado, y asi sucesivamente.*

Si se quiere encontrar el numero de vibraciones que producen una voz en una escala mas baja se divide por 2, y en lo demas se sigue el mismo orden solo que diviendo siempre en vez de multiplicar como en el caso anterior. Nos piden por ejemplo la vibracion correspondiente á *re* en una octava mas baja. Dividirémos por 2 el quebrado $\frac{9}{8}$ y para esto, multiplicarémos por 2 su denominador 8 y nos dará $\frac{9}{16}$, que es el quebrado que buscamos. Si queremos ahora la misma nota otra octava mas basa será $\frac{9}{32}$.

Por lo que hace á los sostenidos y bemoles ó á los medios tonos, buscarémos primero el valor de la nota en la escala natural, y despues multiplicarémos dicho valor por $\frac{25}{24}$ si querémos el sostenido, y por $\frac{24}{25}$ si querémos el bemol. Se nos pide por ejemplo el numero de vibraciones que debe dar *mi* # en la tercera octava. Sacarémos primero el computo como si fuera *mi* natural, que esta representado por $\frac{5}{4}$, y como se nos pide en la tercera octava le multiplicarémos dos voces por 2.

* Para los que no esten versados en el calculo es preciso advertir que si se quiere sacar el valor correspondiente á *re* en la 4a. octava, por ejemplo es necesario repetir cuatro veces la operacion, y no se puede abreviar multiplicando desde el principio por 8, como parece á primera vista. Para convencerse de esto baste multiplicar 2 por 2 dará 4; este por 2 dará 8, el cual por 2 dará 16. Si sumamos los tres multiplicadores darán 6, y multiplicando por este numero el primero que es 2 nos dará 12, numero inferior a 16.

Mi en la 1ª octava, $\frac{5}{4}$
en la 2ª . . $\frac{5}{4}$ multiplicado por 2, $\frac{10}{4}$.
en la 3ª . . $\frac{10}{4}$ idem por 2, $\frac{20}{4}$.

Por consiguiente *mi* natural en la 3ª octava dá 5 vibraciones mientras que *do* grave en la 1ª octava dá una, pues es claro que $\frac{20}{4}$ es igual á 5 enteros. Sacado ya el valor de *mi* natural sacaremos el de *mi* ♯ multiplicando aquel quebrado por $\frac{25}{24}$ y será $\frac{500}{96}$ que es igual á 5 vibraciones y $\frac{20}{96}$ de otra, lo cual se conocerá dividiendo 500 por 96. Si se quiere el bemol de *mi* se multiplicará $\frac{20}{4}$ por $\frac{24}{25}$ y sera $\frac{480}{100}$ que equivale á 4 unidades y $\frac{80}{100}$.
Tenemos pues que en la 3ª octava *mi* ♯ da 5 vib. y $\frac{20}{96}$.
mi ♭ da 4 vib. $\frac{80}{100}$.
Mientras *do* en la 1ª octava hace una vibracion. Supongamos que se quiere investigar las vibraciones de *mi* ♯ y *mi* ♭, dos octavas mas bajo. Sacarémos 1º el natural por el metodo que hemos espuesto y dirémos $\frac{4}{5}$ dividido por 2 da $\frac{2}{5}$, que dividido por 2 dá $\frac{1}{5}$. Multiplicando ahora $\frac{1}{5}$ por $\frac{25}{24}$ tendrémos el sostenido $\frac{25}{120}$. Para sacar *mi* ♭ multiplicarémos $\frac{1}{5}$ por $\frac{24}{25}$ y será $\frac{24}{125}$.

Formemos ahora por via de ensayo todos los ♯ y ♭ de una octava valiendonos de los quebrados $\frac{25}{24}$ y $\frac{24}{25}$ como multiplicadores.

do 1	*sol* $\frac{3}{2}$
do ♯ $1\times\frac{25}{24}=\frac{25}{24}$	*sol* ♭ $\frac{3}{2}\times\frac{24}{25}=\frac{72}{50}=\frac{36}{25}$
do ♭ $1\times\frac{24}{25}=\frac{24}{25}$	*sol* ♯ $\frac{3}{2}\times\frac{25}{24}=\frac{75}{48}$
re $\frac{9}{8}$	*la* $\frac{5}{3}$
re ♯ $\frac{9}{8}\times\frac{25}{24}=\frac{225}{192}$	*la* ♭ $\frac{5}{3}\times\frac{24}{25}=\frac{120}{75}$
re ♭ $\frac{9}{8}\times\frac{24}{25}=\frac{216}{200}$	*la* ♯ $\frac{5}{3}\times\frac{25}{24}=\frac{125}{72}$
mi $\frac{5}{4}$	*si* $\frac{15}{8}$
mi ♭ $\frac{5}{4}\times\frac{24}{25}=\frac{120}{100}$	*si* ♭ $\frac{15}{8}\times\frac{24}{25}=\frac{360}{200}=\frac{9}{5}$
mi ♯ $\frac{5}{4}\times\frac{25}{24}=\frac{125}{96}$	*si* ♯ $\frac{15}{8}\times\frac{25}{24}=\frac{375}{192}=\frac{125}{64}$
fa $\frac{4}{3}$	*do* 2
fa ♭ $\frac{4}{3}\times\frac{24}{25}=\frac{96}{75}=\frac{32}{25}$	*do* ♭ $2\times\frac{24}{25}=\frac{48}{25}$.
fa ♯ $\frac{4}{3}\times\frac{25}{24}=\frac{100}{72}=\frac{25}{18}$	

Supongamos ahora que sabemos el numero de vibraciones pero que ignoramos la nota á que corresponden y asi mismo si es de la 2ª, 3ª, ó 4ª octava, &c. Confrontarémos el numero que se nos dá con los de la tabla, y si fuere mayor que todos ellos le dividiremos por 2 tantas veces cuanto sea necesario para que se reduzca á alguno de los de la tabla. Por ejemplo, se nos dice que una voz está formada $\frac{18}{2}$ vibraciones y se nos pregunta que voz es y á que octava pertenece. Dividirémos en el orden siguiente:

$\frac{18}{2}$ divid. por 2 dá $\frac{9}{2}$,
$\frac{9}{2}$ divid. por 2 dá $\frac{9}{4}$,
$\frac{9}{4}$ divid. por 2 dá $\frac{9}{8}$.

Vemos ahora que $\frac{9}{8}$ en la tabla es *re*, y por consiguiente $\frac{18}{2}$ es tambien *re*; y como hemos hecho dos divisiones dirémos que es *re* de la tercera octava

contando por primera aquella en donde está la tonica.

Las mismas consideraciones deben hacerse respecto de los # y ♭, pues si al cabo de algunas multiplicaciones ó divisiones el resultado fuere alguno de los numeros que espresan los # ó ♭. Claro está que la nota que buscamos es # ó bemol.

Puede tambien suceder que el sonido á que corresponden las vibraciones dadas sea ú intermedio del natural y el # ó el ♭, pues se sabe que de un tono á otro puede pasarse por grados menores que el # y ♭; y aun por grados infinitamente pequeños. En este caso la voz no tiene un nombre en la escala pero si puede practicarse segun saben los musicos, y se observa comunmente en los instrumentos de cuerda. Si el numero de vibraciones que se nos propone pertenece á uno de estos sonidos, la division ó multiplicacion no nos dará ninguno de los numeros de la tabla, pero si se conocerá facilmente á cual se aproxima.

Por ultimo debemos advertir, que toda esta doctrina supone que se toma por base una voz ó una tonica dada, y relativamente á ella decimos que tal voz dá tantas y cuantas vibraciones de modo que puede suceder por ejemplo que *fa* dé las mismas vibraciones que *sol* siempre que el instrumento en que se toque *fa* esté templado en tono mas alto que el otro en que se dé *sol.* De aqui se infiere que no se puede decir en general que tal voz es formada por tal numero de vibraciones, sino que dada una voz, se sabe que las demas en la escala se forman por el numero de vibraciones que espresan los quebrados $\frac{9}{8}$, $\frac{5}{4}$, $\frac{4}{3}$, &c. &c. Infierese igualmente que si querémos comparar voces de una misma escala pero relativas á distinta *tonica* (como sucede cuando dos instrumentos de cuerda están templados uno

mas alto que otro) debemos dividir ó multiplicar por la diferencia entre las vibraciones de las dos tonicas. Supongamos que un instrumento está medio tono mas alto que el otro, y que en ambos se toca la nota *re* de la primera escala. Dichas notas sonarán una mas alta que otra aunque tienen el mismo nombre y pertenecen á la misma escala. Para hallar pues el numero de vibraciones correspondientes á la mas alta respecto de la mas baja, multiplicarémos esta por la diferencia entre las *dos tonicas* que en el caso propuesto es medio tono, ó un ♯ que se encuentra multiplicando por $\frac{25}{24}$, segun hemos dicho. Será pues $\frac{9}{8} \times \frac{25}{24} = \frac{225}{192}$ el *re* mas alto y $\frac{9}{8}$ el mas bajo.

Al fin, mi amigo, estas investigaciones cientificas si bien recrean el entendimiento observando los medios con que la naturaleza produce sus encantos; no bastaran solas á formar el genio de que ha dotado á V. y por mas calculos que otros formen no escribiran cosa parecida á la hermosa obertura de la *Costa de Africa*, ni al patetico *Miserere* que ha grangeado á V. tantos aplausos. Es de V. su afecto, &c. &c.

INDICE.

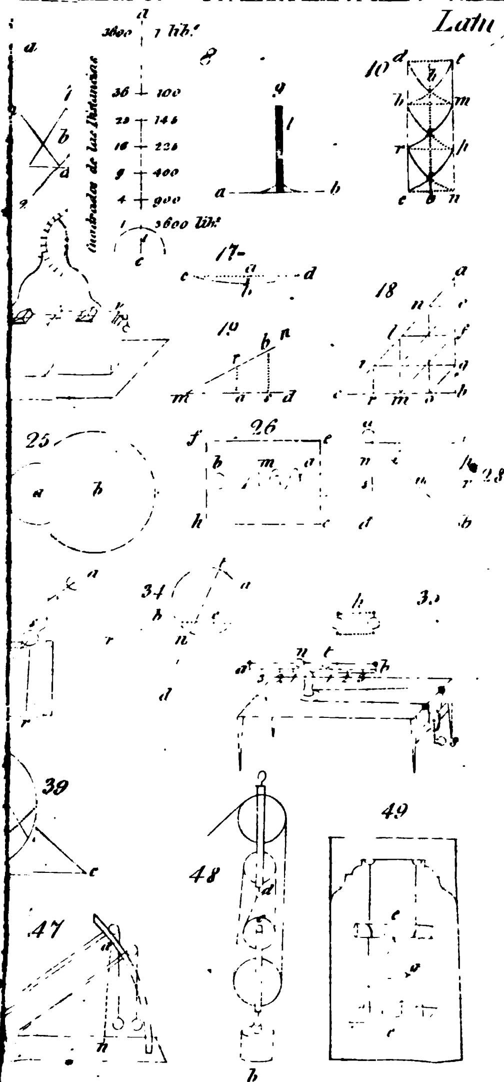
TRATADO DE LOS CUERPOS,

ó

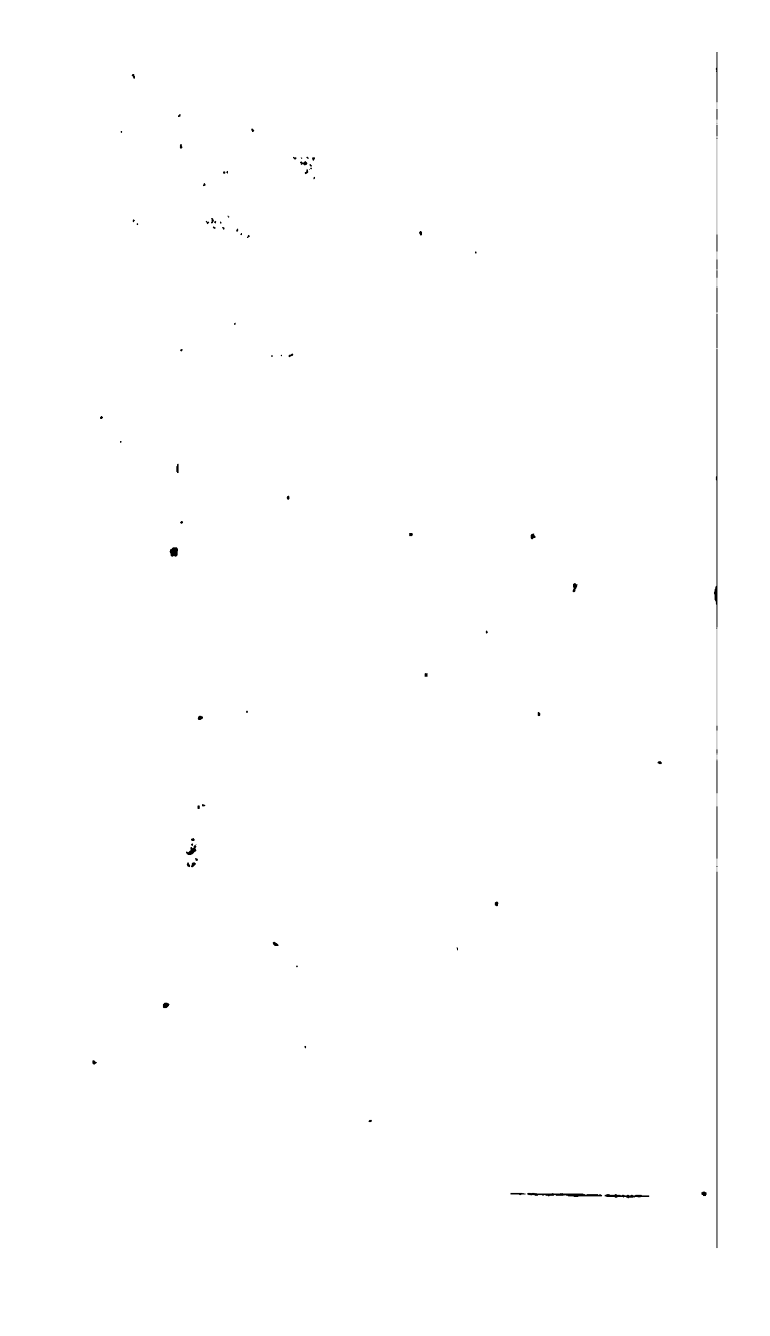
ESTUDIO DEL UNIVERSO.

PARTE I.

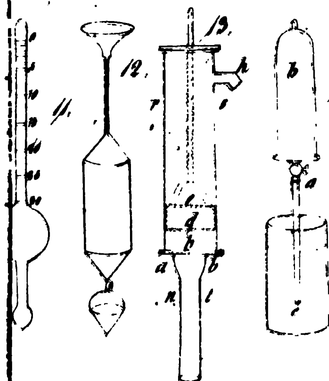
De las propiedades que observamos con mas frecuencia en los cuerpos y de las que sirven para clasificarlos.



Grabada por P. M. Picard.

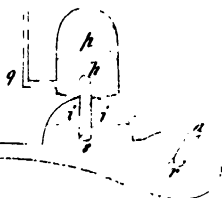


Lam. II.

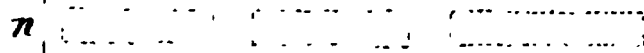


17.





21.



n

Grabada Por Fr. Is. M. Picard. Habana

HM